


FONDO PROVINCIALE

TRAVAUX

DE LA

DIGUE DE CHERBOURG

1783-1853.



TYPOGRAPHIE HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7, BATIGNOLLES.
Boulevard extérieur de Paris.

TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

DE LA

DIGUE DE CHERBOURG

DE 1830 A 1853

PAR M. JOSEPH BONNIN

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR,

INGÉNIEUR DE PREMIÈRE CLASSE DES PONTS ET CHAUSSÉES, CHARGÉ DES TRAVAUX DE LA DIGUE DEPUIS 1843 JUSQU'A L'ACHÈVEMENT,

PRÉCÉDÉS

D'UNE INTRODUCTION HISTORIQUE

SUR

LES TRAVAUX EXÉCUTÉS DEPUIS L'ORIGINE JUSQU'EN 1830.

PAR

ANTOINE-ÉLIE DE LAMBLARDIE,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES TRAVAUX MARITIMES



PARIS

VICTOR DALMONT, EDITEUR,

Successeur de Carilian-Gœury et Vve Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49.

1857

PRÉCIS HISTORIQUE

DES TRAVAUX DE LA DIGUE DE CHERBOURG

DEPUIS L'ÉPOQUE A LAQUELLE ILS ONT ÉTÉ ENTREPRIS, JUSQU'EN 1830,

RÉDIGÉ

PAR M. DE LAMBLARDIE FILS,
Inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes,

D'APRÈS DIVERS DOCUMENTS,

ET NOTAMMENT CEUX FOURNIS PAR MM. LES INGÉNIEURS

FOUQUES-DUPARC ET VIRLA.



On trouve des renseignements très-circonstanciés sur les travaux de la digue de Cherbourg, depuis 1803 jusqu'en 1814, dans le mémoire de M. le baron Cachin, publié en 1820.

On en trouve d'autres du plus haut intérêt sur les travaux qui ont précédé 1803, dans l'histoire de la ville de Cherbourg, par M. Alexis de Tocqueville, insérée en 1849 dans l'*Histoire des Villes de France*, par Aristide Guilbert (Furne et Perrotin, éditeurs).

INTRODUCTION

PRÉCIS HISTORIQUE
DES TRAVAUX DE LA DIGUE DE CHERBOURG

DEPUIS L'ÉPOQUE A LAQUELLE ILS ONT ÉTÉ ENTREPRIS,

JUSQU'EN 1830.

La pensée de créer un grand établissement de marine militaire dans la Manche, où les flottes françaises pussent trouver un abri contre les tempêtes ou contre les attaques d'un ennemi supérieur en force, et qui leur offrît également les moyens de se réparer, remonte à 1665.

Le besoin s'en fit sentir surtout après l'époque désastreuse du combat de la Hougue; mais ce ne fut qu'après la ratification de la paix de 1780 que Louis XIV s'occupa sérieusement de réaliser cet important projet, et que ce monarque fixa son attention sur la baie de Cherbourg et donna la préférence à cette baie sur celle de la Hougue.

La baie de Cherbourg est située, comme on sait, à l'extrémité Nord de la presqu'île du Cotentin. Elle est formée par le renfoncement que présente la partie de cette côte, comprise entre la pointe de Querqueville à l'Ouest, et les rochers de l'île Pelée à l'Est. La distance qui sépare ces deux points extrêmes offre une longueur d'environ 3,600 toises (7,017^{m}), et la plus grande largeur, mesurée entre cette ligne et le rivage, est d'environ 2,000 toises (3,898^{m}).

Cette rade, avant le commencement des travaux qui y ont déjà été exécutés, était entièrement foraine; abritée seulement par les hauteurs qui l'environnent contre les vents de la partie du Sud, depuis

l'Est-Nord-Est jusqu'à l'Ouest-Nord-Ouest, elle était entièrement ouverte du côté du Nord à ceux qui soufflent dans cette direction, depuis l'Ouest-Nord-Ouest jusqu'à l'Est-Nord-Est, en sorte que les navires y étaient exposés, sans aucun abri, aux vents qui produisent les plus fortes vagues dans ces parages.

Année 1665. L'idée de couvrir la rade de Cherbourg par un ouvrage d'art remonte à 1665; mais le premier projet de cette espèce sur lequel on ait pu se procurer des renseignements complets ne date que de 1777. Il est dû à M. de la Bretonnière père, capitaine des vaisseaux du roi.

Année 1777. Le projet de cet officier consistait à former une digue artificielle en pleine mer, à environ 2,000 toises (3,098^{m}) du rivage, et à l'abri de laquelle les vaisseaux eussent été, selon lui, parfaitement en sûreté.

Cette digue devait laisser communiquer la rade avec la mer par trois passes, savoir: l'une à l'Ouest, entre la pointe de Querqueville et l'extrémité Ouest de la première branche; l'autre, située au milieu; et enfin la troisième, entre l'extrémité Est de la seconde branche et l'île Pelée.

Le noyau de cet ouvrage devait être formé au moyen de navires remplis de maçonnerie, qu'on aurait coulés bas et qui auraient été ensuite recouverts d'un enrochement à pierres perdues jusqu'à 50 pieds (16^{m},30) environ au-dessus du fond de la mer; c'est-à-dire qu'elle aurait été recouverte de 18 pieds (5^{m},85) d'eau dans les pleines mers des syzygies. Mais ce projet ne fut point accueilli.

Année 1787. Tandis que le département de la marine s'occupait, à cette époque, des moyens de former un établissement maritime à Cherbourg, celui de la guerre avait été chargé, de son côté, d'étudier des projets pour cette vaste entreprise.

En conséquence, les Ingénieurs militaires proposèrent, en 1778, la construction d'une digue qui eût été établie dans une direction passant sur les rochers du Hommet et par l'extrémité Sud-Ouest de l'île Pelée. Comptant réduire ainsi la rade de Cherbourg à l'espace de mer compris entre cette direction et la terre, ils projetèrent en même temps

la construction de deux grands forts, l'un sur le Hommet, l'autre sur l'île Pelée, en choisissant les positions qui réduisaient le plus possible la distance qui sépare ces deux points.

Cette digue devait être formée par des caissons remplis de maçonnerie de béton, établis en retraite les uns sur les autres, et recouverts du côté du large par un enrochement à pierres perdues, comme dans le système de M. de la Bretonnière.

Ce projet eut le même sort que le premier, en ce qui concernait la digue, et le gouvernement se borna à faire entreprendre immédiatement la construction des forts.

Après avoir longtemps hésité sur les moyens de fermer la rade de Cherbourg, le gouvernement adopta, en 1781, le projet de caisses coniques, proposé par M. de Cessart. Les détails de ce projet sont trop connus pour qu'il soit besoin d'entrer dans de grands développements à ce sujet; mais il est cependant indispensable de présenter ici quelques renseignements qui s'y rattachent, et de rappeler les principaux faits qui ont conduit à abandonner ce mode de construction. Année 1781.

La digue devait être, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, construite au moyen de caisses en charpente de forme conique tronquée, suivant ***une ligne brisée en plan*** aux deux tiers de sa longueur, située à environ 2,000 toises (3,898^{m}) du rivage, et dont les deux directions passent, d'un côté, par l'île Pelée, et de l'autre par la pointe de Querqueville. Cette digue devait laisser et laisse effectivement aujourd'hui deux passes entre la pointe de Querqueville et l'île Pelée, l'une à l'Ouest, d'environ 1,200 toises (2,339^{m}) de longueur, l'autre à l'Est, de 500 toises (975^{m}).

Les caisses coniques devaient avoir 45^{m},50 de diamètre à la base, 19^{m},50 au sommet et 19^{m},50 de hauteur. Dans le principe, et tel que M. de Cessart avait d'abord conçu le projet, ces caisses devaient se toucher ***base à base*** sur toute la longueur de la digue. Elles devaient être remplies en moellons ***à sec***, depuis le fond jusqu'au niveau des basses

mers, et en maçonnerie de béton, parementée en pierres de taille, depuis ce niveau jusqu'au sommet. Enfin, les mémoires et renseignements divers, relatifs aux travaux et projets de cette époque, font voir que si M. de Cessart n'avait pas été entraîné par des influences puissantes, étrangères à sa volonté, il eût sans doute proposé de porter la digue plus au large et de lui donner une configuration curviligne dont la concavité eût été tournée du côté de la mer (1).

Mais il s'en faut beaucoup que son projet ait été exécuté comme on vient de le décrire.

D'abord le Département de la Guerre s'opposa de toute sa puissance à ce que la digue fût portée plus vers le large qu'elle ne l'est, afin de ne pas rendre en quelque sorte inutiles les forts qu'on avait projetés sur l'île Pelée et les rochers du Hommet, et dont la construction était déjà fort avancée en 1784, époque de l'échouement du premier cône. Ce Département projeta même alors de prolonger la digue dans l'ouest jusqu'à environ 600 toises (1,169^{m}) de la pointe de Querqueville, afin d'obliger les bâtiments ennemis qui voudraient forcer cette passe à passer à bonne portée du fort dont il entreprit plus tard la construction. Mais ce prolongement est devenu depuis à peu près inutile, par suite de la découverte que fit un officier de la marine royale (M. de Chavagnac) d'un écueil qui n'est submergé que de 15 pieds (4^{m},89) d'eau à basse mer, et qui n'est situé qu'à environ 600 toises (1,169^{m}) de l'extrémité actuelle de la digue, précisément dans la direction où il eût fallu la prolonger.

Année 1781 et suivantes jusqu'à 1789

Des considérations d'économie déterminèrent ensuite à ne remplir les cônes que de *petites pierres* sans aucune liaison de mortier depuis leur base jusqu'à leur sommet; enfin, par suite d'un concours de circonstances qu'il est inutile de rappeler ici, les cônes furent successivement espacés de 30 toises (58^{m},50), de 50 toises (97^{m},5), de 120 toises (234^{m}), et même jusqu'à 200 toises (389^{m},80), au lieu d'être

(1) Extrait du mémoire de la Commission de 1792.

échoués base à base. Pour remédier à l'inconvénient de cette modification qui rendait l'emploi des caisses coniques illusoire sous le rapport de la tranquillité de la rade, on remplit les intervalles qui les séparaient par des enrochements de petites pierres, qui s'élevaient à peu près jusqu'au niveau de basse mer.

Les changements apportés à l'exécution du projet de M. de Cessart devaient nécessairement nuire à la réussite de cette entreprise, lors même que les principes qui avaient dirigé son auteur dans sa conception n'eussent point été susceptibles d'être controversés. Aussi, dès les premières années de leur construction, les cônes éprouvèrent des avaries considérables; les vagues, en déferlant sur leur sommet, enlevèrent une grande partie des pierres qui les remplissaient; le ressac, qui avait lieu sur leurs parois extérieures, affouillait également les enrochements dont ils étaient entourés; enfin leur charpente elle-même ne fut point exempte d'avaries considérables.

On essaya pendant quelques années de réparer ces avaries et de s'opposer à ce qu'elles se renouvelassent, en construisant sur le sommet des deux cônes extrêmes de l'Est des massifs en béton qui avaient environ 2 *mètres* d'épaisseur; mais tous ces moyens ne purent remédier au mal. En 1788, le gouvernement abandonna tout à fait ce système de construction; et en 1789, tous les cônes furent recepés jusqu'au niveau des basses mers, à l'exception de celui de l'extrémité Est de la digue, qui fut conservé pour marquer la passe et qui avait d'ailleurs mieux résisté que les autres en raison de la couche de béton dont il était recouvert [1].

Il résulte de ce qui précède, que les travaux de la digue avaient été conduits jusqu'alors d'après un système de construction mixte, dont les deux parties n'avaient aucune corrélation entre elles, et ne pou- Année 1789.

[1] Ce dernier cône est tombé en ruine en 1799. Les vers marins en avaient rongé la majeure partie, et ils ont également détruit ce que l'on pouvait apercevoir des restes des autres cônes.

vaient se prêter aucun appui réciproque; puisque, d'une part, l'action des lames sur les cônes produisait des affouillements dans les enrochements, et que, d'autre part, ceux-ci n'ajoutaient rien à la solidité des premiers.

Les partisans de ce dernier système le firent alors prévaloir sur celui des cônes. A partir de 1788, l'on ne s'occupa plus que du versement des pierres pour la fondation de la digue; et ces travaux furent poussés avec une telle activité, que la quantité de ces matériaux versés s'élevait à environ 2,665,400 mètres cubes à la fin de 1790.

A cette époque, les enrochements se trouvaient élevés, à peu de chose près, *au niveau moyen des basses mers*, sur toute la longueur de la digue; mais ces enrochements éprouvèrent bientôt des avaries qui jetèrent de nouveau une grande incertitude sur les moyens qu'il convenait d'employer pour terminer cette vaste entreprise.

En effet, il est facile de concevoir qu'une masse de pierres d'un faible volume, sans aucune liaison, établies sur un talus qui n'avait qu'un et demi de base sur un de hauteur du côté du large, ne pouvait résister à l'action des vagues, et que sa configuration devait éprouver des changements considérables dont il était impossible de prévoir le terme ni les suites. Ces changements furent tels, que le sommet de la digue fut promptement abaissé au-dessous des plus basses mers; et que quelques personnes pensèrent que les pierres qui la formaient avaient été chassées dans l'intérieur de la rade par l'effet des vagues.

Mais il importe de signaler ici comment ces effets s'opèrent, parce que les observations auxquelles ils donnèrent lieu eurent une grande influence sur le mode qui fut adopté par la suite pour la continuation des travaux.

Les pierres formant le talus extérieur furent d'abord déplacées dans *deux sens différents*, par suite du mouvement oscillatoire des ondes. Elles s'étendirent généralement sur un plan beaucoup moins incliné, par rapport à l'horizon, que le talus qui leur avait été primitivement

donné. Une partie descendit vers le pied de la digue, et une autre fut poussée vers le sommet, de manière qu'après les premières tempêtes, le sommet fut d'abord plus élevé qu'il ne l'était dans le principe ([1]).

Quant au talus intérieur, il n'éprouva aucune espèce d'altération. Mais dans la suite le sommet s'abaissa à son tour; les pierres qui le formaient furent culbutées par les lames vers le talus intérieur; et celui du côté du large continua de s'étendre et d'augmenter d'inclinaison.

Ce profil a sensiblement la forme d'un quadralitère irrégulier, dont le plus grand côté repose sur le sol, et dont les trois autres côtés affectent les pentes suivantes, savoir :

Le petit côté vers le large a un de base sur un de hauteur jusqu'au point où il rencontre une profondeur d'eau moindre que 14 à 15 pieds ($4^m,56$ à $4^m,89$) au-dessous du niveau des basses mers;

Le côté supérieur a une pente de dix de base sur un de hauteur, depuis sa rencontre avec le petit côté jusqu'au point culminant du profil;

Enfin le côté vers la rade a un de base sur un de hauteur.

On s'assura d'ailleurs par des draguages faits avec soin qu'aucune partie des enrochements n'avait été projetée dans l'intérieur de la rade, comme on l'avait d'abord craint.

Lorsque toutes les parties de la digue eurent acquis la configuration décrite ci-dessus, les enrochements n'éprouvèrent plus de dérangements aussi sensibles. On pensa avec raison que l'action des lames leur ayant donné la forme qui présentait le moins d'obstacles à leur développement, le profil ne serait plus modifié. Mais comme on avait remarqué cependant que cette action se faisait sentir jusqu'à 14 ou 15 pieds ($4^m,56$ à $4^m,89$) au-dessous du niveau des plus basses mers, on conserva encore quelques doutes sur la stabilité des enrochements en petites pierres; et l'on essaya de les consolider complétement en recouvrant, sur la branche de l'Est, une certaine longueur de talus

([1]) Ce fait est rapporté dans le mémoire de la Commission de 1792.

extérieur par une couche de blocs cubant chacun de 20 à 25 pieds cubes ($0^{mc},56$ à $0^{mc},89$).

Cette partie de l'ouvrage reçut le nom de *digue d'épreuve* : elle résista, et a constamment résisté depuis sa construction, aux efforts des plus violentes tempêtes, sans éprouver de changements sensibles.

En définitive, il résulte des renseignements présentés dans le mémoire de M. le baron Cachin, publié en 1820, que, par suite de l'action des lames sur les enrochements en petites pierres :

Le sommet de la branche *Est* de la digue sur laquelle on avait versé la plus grande quantité de pierres, et qui était d'ailleurs consolidé par les débris d'un assez grand nombre de cônes, découvrait à peine à basse mer dans les grandes marées; et que le sommet de la branche de l'Ouest s'était généralement abaissé jusqu'à 8 pieds ($2^m,60$) à 10 pieds ($3^m,25$) au-dessous du même point [1].

C'est encore à l'époque de 1789 que le gouvernement voulut s'assurer, par des sondes multipliées et rapportées à un point de repère commun, de la nature du fond de la rade et des différentes profondeurs d'eau qu'elle présentait. Ce travail fut confié à deux commissions qui opérèrent simultanément, mais séparément, afin que les résultats pussent être confrontés comme moyen de vérification.

Années 1790 et 1791. On ne fit que peu de travaux à Cherbourg en 1790; et la tourmente révolutionnaire, qui commençait à se faire sentir dès cette époque, obligea de les suspendre entièrement. Cependant plusieurs ingénieurs s'occupèrent, dans cette année et dans la suivante, de la recherche des moyens de les continuer avec plus de succès qu'on n'en avait obtenu jusqu'alors.

[1] Les profils qui ont été relevés avec le plus grand soin par M. l'ingénieur Virla, en 1829, confirment ces résultats, et apprennent également que l'action des lames se fait sentir sur les petites pierres plus bas qu'on ne l'avait pensé jusqu'à présent. Ils indiquent aussi que les modifications qui ont été déjà apportées dans le régime des courants par suite de la construction de la digue en ont également fait naître dans le fond de la rade *aux abords* de cet ouvrage.

Les moyens que ces ingénieurs imaginèrent sont décrits sommairement dans un mémoire rédigé par un ancien conducteur des travaux de la rade (le sieur Noël), et publié en 1801.

Trois de ces projets consistaient : dans l'emploi combiné du système des enrochements avec des murs en maçonnerie, ou avec divers systèmes de charpente qui n'eussent été probablement employés que comme *moyens d'exécution.*

Le sieur Noël n'indique point les noms des auteurs de ces projets; mais, d'après ce qui reste de la minute d'une lettre écrite par M. de Lamblardie père à MM. Pitrou, Gayant et Ferregeau, alors ingénieurs des ponts et chaussées dans le département de la Manche, tout porte à croire qu'ils ont été étudiés par ces ingénieurs.

Cette minute contient aussi l'indication sommaire des moyens de construction que M. de Lamblardie père croyait alors devoir être les plus convenables pour achever la digue de Cherbourg.

Après avoir déduit de la configuration qu'affectent les différents rivages de la mer, suivant l'espèce de matériaux dont ils sont formés, les principes qui devaient, selon lui, diriger la recherche du profil qu'il convenait d'adopter pour la digue de Cherbourg; cet Ingénieur proposait de n'employer dans sa construction que des enrochements à pierres perdues, en ayant l'attention de réserver les matériaux les plus gros pour garnir la partie supérieure du talus vers le large.

M. de Lamblardie pensait d'ailleurs que le moyen le plus efficace de faire prendre au parement extérieur la forme la plus convenable était de laisser agir la mer sur les masses de petites pierres que l'on avait seulement versées de manière à pouvoir en approcher le plus possible. Mais pour éviter que les pierres soulevées par l'action des vagues ne fussent jetées sur le talus intérieur de la digue, cet Ingénieur proposait de faire usage de prismes triangulaires bâtis en charpente, que l'on aurait établis sur le sommet des enrochements sup-

posés élevés au niveau des basses mers. Ces prismes eussent été échoués sur l'une de leurs faces, et fixés dans cette position par quelques blocs reposant sur la paroi inférieure. La face de ces mêmes prismes, située du côté du large, eût été à claire-voie; celle du côté de la rade eût été bordée, non pas avant leur échouage, mais successivement au fur et à mesure que les petites pierres poussées par l'action des lames seraient venues s'appuyer contre elle.

L'auteur de ce projet ne se dissimulait pas que, si le moyen de construction qu'il proposait d'employer suffisait pour arrêter la marche des petites pierres dans un sens *perpendiculaire* à la direction de la digue, il ne s'opposerait en rien au mouvement que prendraient ces matériaux dans le sens *longitudinal*. M. de Lamblardie père avait en conséquence calculé, d'après les données que lui avaient fournies les observations qu'il avait faites sur la marche des galets des côtes de la haute Normandie, quelle serait à peu près la quantité de pierres qui arriveraient annuellement aux extrémités de la digue pour y former des *pouliers*.

D'une part, il pensait que ces pouliers ne pourraient jamais acquérir assez d'étendue pour nuire à la sûreté des passes; et, d'autre part, il supposait que lorsqu'ils auraient atteint un niveau supérieur à celui de la basse mer, tout ce qui excéderait ce niveau serait enlevé pour être porté en rechargement sur la digue avec les autres matériaux nécessaires à son entretien.

Ainsi, dans ce système de construction, on eût été obligé de porter annuellement une certaine quantité de pierres sur la digue, dont le cube était évalué par M. de Lamblardie père ne pas devoir excéder 2/5 de toise cube ($3^{mc}, 00$), par toise courante de digue ($1^{m}, 95$).

Ce célèbre Ingénieur ne se dissimulait pas non plus que cette obligation ne fût un inconvénient grave du système qu'il proposait d'employer. Mais ceux inhérents à des constructions en maçonnerie dans

une semblable localité lui paraissaient *alors* presque insurmontables; et voici quelle était sa manière de voir sur la nature des travaux à faire:

« Eviter tout système de construction, dont on ne peut réparer les avaries avec autant de promptitude qu'elles peuvent avoir lieu.

« Choisir de préférence celui dont chaque partie d'ouvrage en maçonnerie exécutée peut être livrée à elle-même et abandonnée pendant la saison des tempêtes sans qu'il en résulte de très-grandes dégradations.

« Subordonner aussi le mode de construction à la nature des matériaux de toute espèce dont on peut disposer, et tâcher en même temps qu'il soit tel que la mer agitée tente plutôt à le consolider qu'à le détruire.

« Enfin ne recourir à des constructions en maçonnerie qu'en les garantissant par un moyen quelconque pendant la durée de leur exécution. »

M. de Lamblardie père disait encore, dans la lettre citée plus haut, qu'il avait toujours regardé le système de caisses coniques *perfectionné* comme le meilleur moyen à employer, parce qu'il craignait les atterrissements dans la rade; mais que si ces atterrissements n'étaient point à craindre, il préférerait le mode des enrochements à pierres perdues, qui présente des plans inclinés à la mer agitée; ce qui était, selon lui, plus conforme aux principes.

Si les événements de la révolution s'opposèrent pendant quelques années à la continuation des travaux de la rade de Cherbourg, ils ne les firent cependant pas perdre entièrement de vue.

L'Assemblée législative, convaincue de l'extrême importance de cette entreprise, se fit rendre compte, en 1792, de l'état des travaux exécutés, dont la dépense s'élevait déjà à plus de 31,000,000 fr. Après avoir reconnu que les fautes qui avaient été commises dans leur exécution provenaient, en grande partie, du défaut d'ensemble et d'accord dans Années 1792 et 1793.

les projets qui avaient été adoptés; elle rendit un décret qui chargea le gouvernement de nommer des commissaires[1] choisis dans les départements de la Guerre, de la Marine et de l'Intérieur, pour constater les avantages des travaux précédemment faits, et proposer tous les moyens de perfection et les constructions nouvelles qu'ils jugeraient utiles au complément de cet établissement maritime.

Cette Commission porta son attention sur l'ensemble et sur tous les détails de cette vaste entreprise. Le rapport qu'elle remit au gouvernement est en même temps un témoignage éclatant des talents des personnes qui l'ont rédigé et de la sagesse de celles qui avaient provoqué sa formation ou présidé au choix des membres qui la composaient. Les questions relatives à l'amélioration de la rade de Cherbourg, aux dispositions nautiques, enfin à la création des établissements maritimes nécessaires pour la réparation et l'armement des vaisseaux et des ouvrages défensifs indispensables pour les protéger, ont été successivement traitées de la manière la plus satisfaisante dans cet important travail, dont on ne rappellera succinctement ici que ce qui concerne la sûreté de la rade.

La Commission de 1792 examina d'abord la situation générale des ouvrages exécutés, et elle manifesta à cette occasion le regret que la digue n'eût pas été établie plus au large, et que des causes étrangères aux considérations nautiques eussent déterminé l'adoption d'une disposition anguleuse pour sa direction, disposition que cette Commission regardait comme absolument contraire à ce que prescrivent l'ob-

[1] Cette Commission fut composée de :

MM. Crublier d'Opterre, Du Dezerseuil,	officiers du génie.
Eyriez, Letourneur,	officiers de la marine royale.
Lamblardie père, Cachin,	ingénieurs des ponts et chaussées.
Péqueux, Le Gagneux,	pilotes.

servation et la théorie sur la forme à donner à ce genre d'ouvrages pour leur plus grande stabilité.

Elle porta ensuite la plus scrupuleuse attention sur les diverses variations que la mer avait fait éprouver aux différentes parties de la digue, et elle reconnut qu'elles étaient conformes à ce qui a été dit plus haut, c'est-à-dire :

1° Que l'action des lames se faisait sentir sur les enrochements formés de petites pierres jusqu'à environ 15 pieds (4m,89) en contre-bas du niveau des basses mers; et, qu'au-dessous de cette profondeur, les talus du côté du large se maintenaient généralement avec une inclinaison de 45°;

2° Que, dans toute l'épaisseur de la tranche fluide où l'action des lames se fait sentir, les talus extérieurs avaient pris une inclinaison moyenne d'environ 10 de base pour 1 de hauteur;

3° Que les talus intérieurs avaient conservé l'inclinaison de 45° qui leur avait été donnée dans le principe;

4° Que les pierres du parement extérieur étaient poussées par l'action des lames vers le talus intérieur, et qu'elles se mouvaient également dans le sens *longitudinal* de la digue, dans une direction qui dépendait de celle des vents et des courants;

5° Que la digue d'épreuve, qui avait été recouverte d'une couche de gros blocs, n'avait subi aucune altération.

La Commission de 1792 conclut des observations ci-dessus :

1° Que les petites pierres qui formaient la partie de la digue non recouverte de gros blocs étaient encore susceptibles de prendre du mouvement, et qu'il serait difficile de prévoir l'époque à laquelle ce mouvement s'arrêterait;

2° Que le point où l'action des vagues se trouve en équilibre avec la résistance des petites pierres étant à 14 ou 15 pieds 7 pouces (4m,59 ou 4m,86) en contre-bas du niveau des basses mers, les parties supérieures du talus ne deviendraient tout à fait stables que lorsque celles infé-

rieures seraient assez allongées pour que les vagues eussent dépensé, en les parcourant, toute la force dont la mer est animée avant d'arriver au sommet de la digue;

3° Que le moyen de prévenir l'abaissement successif du sommet actuel de la digue était de recouvrir les talus extérieurs de matériaux d'une dimension telle que l'action des vagues n'eût plus de prise sur eux.

Considérant ensuite que les blocs jetés sur la digue d'épreuve avaient satisfait à cette condition, la Commission proposa de faire usage de ce mode de construction, qui lui parut réussir *à quelque hauteur* que l'on voulût élever le massif des enrochements.

Ce point important arrêté, la Commission de 1792 s'occupa de la question de savoir à quelle hauteur on porterait l'élévation de la digue.

Elle recueillit à ce sujet tous les renseignements qu'elle put se procurer sur les opinions qui avaient été émises par les Marins et les Ingénieurs antérieurement à sa formation, et fit par elle-même de nombreuses observations au moyen du vaisseau *le Trident* et des autres bâtiments qui stationnaient dans la rade de Cherbourg.

Ce concours de renseignements la conduisit à proposer d'élever la digue jusqu'à 9 pieds ($2^m,92$) au-dessus des plus hautes mers.

La Commission porta ensuite son attention sur les passes: celle de l'ouest lui parut être beaucoup trop large. Mais, comme il ne semblait pas possible alors de prolonger la digue actuelle au delà du point où elle était arrêtée, à cause de la roche Chavagnac, la Commission proposa de réduire la largeur de cette passe à moitié de ce qu'elle est maintenant, en construisant une nouvelle digue partant de la pointe de Querqueville, et se dirigeant vers l'*Est-Nord-Est*, sur une longueur de 600 toises ($1,169^m$).

Indépendamment de l'avantage que la Commission trouvait à cet ouvrage, sous le rapport du calme qu'il aurait procuré dans la rade, elle pensait qu'il aurait eu de plus celui de protéger le rivage de la baie

Sainte-Anne contre les attaques de la mer, et d'empêcher la formation d'une quantité assez considérable d'alluvions provenant de ses débris, et que les courants transportent ensuite dans la baie de Cherbourg. Enfin cette diminution de la passe aurait eu aussi, dans l'opinion de la Commission, l'avantage de faciliter la sortie des bâtiments par un vent contraire, en faisant porter la direction des courants de jusant plus dans le Nord qu'elle ne le fait maintenant.

Quant aux dispositions défensives, la Commission de 1792 pensa que les trois forts qui existaient maintenant, soit sur la côte, soit sur l'île Pelée, joints aux moyens maritimes que l'on pourrait employer, seraient suffisants pour protéger les passes de la rade; que, par conséquent, il n'y aurait pas lieu d'établir un fort sur le musoir de l'ouest de la digue ni sur aucun autre point de cet ouvrage, et qu'il suffirait tout au plus d'y construire de distance en distance quelques batteries rasantes.

L'opinion qui avait été émise par la Commission de 1792 sur le système défensif de la rade de Cherbourg ne fut pas partagé par l'empereur Napoléon. Vers la fin de l'année 1800, il se fit rendre compte des divers projets qui avaient été précédemment présentés, et, après avoir examiné l'ensemble et les détails, il crut devoir considérer la défense de la rade de Cherbourg sous un autre point de vue. Année 1800.

Sans préjuger les avantages qui pourraient résulter de l'exhaussement total de la digue, sous le rapport de la tranquillité du mouillage, l'Empereur ne vit dans le fort du Hommet qu'un établissement de simple protection pour l'intérieur de la rade. Les forts Royal et de Querqueville, situés à 3,600 toises (7,016^{m}) l'un de l'autre, lui parurent hors d'état de croiser leurs feux et d'interdire aux vaisseaux ennemis la possibilité de s'embosser au Nord de la digue, à portée des bâtiments mouillés dans la rade.

Les défenses maritimes que l'on avait proposé d'employer accidentellement furent aussi réputées ne pouvoir offrir qu'une ressource précaire

et insuffisante, d'un entretien dispendieux et d'un succès incertain.

Enfin Napoléon n'hésita pas à conclure de ces considérations la nécessité d'établir sur la digue des défenses fixes, et il confia à une Commission spéciale le soin d'en déterminer le placement [1].

Année 1802. Sur le rapport de cette Commission, le gouvernement prit une décision, le 15 octobre 1802, qui ordonna que la partie centrale de la digue serait élevée à 9 pieds ($2^m,92$) au-dessus du niveau des plus hautes mers, sur 100 toises ($194^m,90$) de longueur, pour y établir une batterie de vingt pièces d'artillerie de gros calibre, et que les musoirs *Est* et *Ouest* de la digue seraient ultérieurement disposés pour recevoir une semblable destination.

M. le baron Cachin, alors Inspecteur général des ponts et chaussées, attaché au service de la marine militaire, et dans l'inspection duquel se trouvaient les travaux de Cherbourg, fut chargé de diriger cette entreprise. Il crut devoir la conduire d'après les principes adoptés par la Commission de 1792, dont il faisait partie ; mais ces principes ayant été en grande partie démentis par l'expérience, les moyens qu'il convenait d'employer pour terminer la digue ont dû être remis en question.

Le premier usage que l'on fit des blocs eut d'abord tout le succès qu'on s'en était promis. On forma sur la crête des versements faits vers la partie centrale de la digue, là où devait être élevée la batterie projetée, un cordon destiné à empêcher les petites pierres de passer dans le sud, et ce qui avait été prévu arriva. Les petites pierres vinrent s'appuyer contre cette espèce de muraille ; mais, cédant ensuite à l'impulsion des courants et des lames soulevées alternativement par les vents Nord-Est et Nord-Ouest, elles prirent un mouvement latéral, et for-

[1] Cette Commission fut composée de :
MM. De Rosily, vice-amiral.
De Marescot, premier inspecteur général du génie.
Cachin, inspecteur général des ponts et chaussées.

mèrent insensiblement d'énormes dépôts aux deux extrémités du cordon qui les avait momentanément arrêtées.

Lorsque la masse des petites pierres eut acquis tout le développement nécessaire pour y établir une batterie, des blocs furent versés sur les talus extérieurs, conformément aux indications de la Commission de 1792. Déjà cette batterie s'élevait sur une assez grande étendue, quand une tempête en fit crouler une partie (8 décembre 1803). Il fut alors décidé que sa largeur, primitivement fixée à 25 mètres, serait augmentée et portée à 30^m,50. Il fut aussi arrêté qu'au centre et aux extrémités, la citerne et les latrines seraient maçonnées.

Avaries éprouvées.

Année 1803.

Les années 1804, 1805 et 1806 furent employées à réparer les ravages causés par cette première tempête, et l'on donna à la batterie une largeur plus grande que celle qui lui avait été primitivement assignée. Les blocs les plus volumineux qu'il fut possible de transporter formèrent les revêtements du large; et la forme plus allongée des talus semblait pour l'avenir un sûr garant de leur stabilité.

Années 1804, 1805 et 1806

Cependant ils furent attaqués dans la tempête du 18 février 1807; une brèche s'ouvrit dans l'Ouest, et l'on remarqua que l'action de la lame s'était fait particulièrement sentir entre le niveau des basses mers de morte eau et celui des hautes mers de vives eaux. On observa aussi que les blocs se trouvaient arrimés suivant une courbe parfaitement régulière dans toutes les parties qui n'avaient pas été subitement dégradées. Des profils furent faits sur un grand nombre de points, et l'on reconnut que cette courbe était un arc de cycloïde dont le cercle générateur avait environ 4 mètres de rayon. En rétablissant les enrochements qui venaient d'être détruits, on s'attacha donc à suivre scrupuleusement la forme que la mer avait elle-même indiquée, espérant qu'en profitant ainsi des leçons de l'expérience on parviendrait enfin à rendre cet ouvrage inattaquable; mais cet espoir fut bientôt déçu.

Année 1807.

A peine les traces de la tempête du 18 février avaient-elles disparu, que celle *des* 29 *et* 30 *mai* culbuta de nouveau les enrochements. Les

blocs, poussés par les lames qui venaient de l'Ouest et du Nord-Ouest, s'accumulèrent vers l'extrémité du prolongement de l'Est, qui, comme on le voit dans le Mémoire de M. le baron Cachin de 1820 (pages 30 et 31), formait le commencement d'une des deux branches de la digue. Le reste de la campagne de 1807 fut employé à recharger les talus du côté du large et à réparer, autant que possible, le mal causé par cette dernière tempête, dont les effets ne s'étaient pas fait sentir au-dessous des basses mers de morte eau.

Année 1808. Jusque-là les dégradations occasionnées par la mer avaient été successivement réparées; mais, le 2 février 1808 (jour de pleine lune), une tempête plus violente que celles qui l'avaient précédée bouleversa en moins de six heures les enrochements, l'épaulement, le terre-plein, et renversa les établissements en charpente qui servaient au logement de la garnison et des ouvriers. Quelques points seulement résistèrent, et ce furent ceux qui avaient été maçonnés. C'est ainsi que la citerne, les latrines et les grottes de l'Est servirent de refuge à quelques-uns des hommes qui échappèrent à ce désastre. Les prolongements furent détruits; il ne resta de celui de l'Est que l'emplacement occupé par les grottes. Blocs et petites pierres passèrent pêle-mêle au Sud de la digue, et formèrent ces dépôts que l'on aperçoit à mi-marée.

Après cet affreux ouragan, la batterie ne présenta plus au nord qu'une vaste plage où l'on voyait çà et là engagés, au milieu des pierrailles et des moellons arrondis, quelques blocs qui avaient échappé au mouvement général. On crut devoir ne rien changer à la nouvelle forme que la mer avait donnée aux talus; on se borna à rétablir une batterie provisoire, et, pendant tout l'été, on versa des blocs pour protéger la petite pierre qui se trouvait à découvert.

Le 27 septembre, une tempête de vent du Nord-Est fit encore éprouver des déplacements aux blocs nouvellement versés. Il y en eut un grand nombre de transportés vers l'extrémité Ouest de la batterie, où ils se réunirent aux dépôts qui s'y étaient précédemment formés.

Dans le cours de 1809, on continua le chargement des talus du Nord, qui n'éprouvèrent cette année aucune avarie marquante. Année 1809.

En 1810, on fut moins favorisé par le temps. Le 2 novembre, une tempête du Nord-Nord-Est exerça sur la batterie un épouvantable ravage. Le sol en fut affouillé sur une longueur de 25 mètres, à plus de 1m,30 de profondeur et 3 mètres de largeur. Soixante mètres courants de l'épaulement furent emportés jusqu'au niveau des basses mers de morte eau, et les blocs qui en provinrent furent ajoutés, dans l'Ouest, à la masse des anciens dépôts. Le mal eût été probablement plus grand, sans la citerne qui présentait au centre un point résistant qui protégea toute la partie qui se trouvait sous le vent à elle. Année 1810.

Dans la nuit du 10 au 11 du même mois (la lune était pleine), une seconde tempête, plus violente encore, acheva de détruire ce que la première avait épargné. L'enveloppe des latrines, celle des grottes furent enlevées : la maçonnerie seule résista à la fureur des lames que soulevait un vent de Nord-Nord-Ouest, d'une force extraordinaire.

Il fallut recommencer en 1811 à recharger le talus du Nord. On y versa 13,339 mètres cubes de blocs les plus volumineux qu'il fut possible de mettre à bord des bâtiments de transport. Année 1811.

Ce fut dans cette même année 1811 que l'on jeta les premiers fondements du soubassement que l'on voit au sud de la batterie, et dont M. le baron Cachin donne la description, page 37 et suivantes de son Mémoire. La fréquence des dégradations qu'éprouvaient les enrochements, et les doutes que l'on commençait à concevoir sur la possibilité de leur attribuer une résistance convenable, amenèrent un changement de système. On se détermina à construire un édifice dont la base, établie au niveau des plus basses marées, maçonnée et revêtue de granit, présentât à la mer un bloc artificiel qui pût soutenir l'effort des tempêtes, par le seul effet de l'énormité de sa masse. Soubassement du fort central.

Le mode adopté pour l'exécution de cet ouvrage fut le même que

l'on avait suivi lors de la construction du mur de quai extérieur du terre-plein qui sépare la rade du bassin à flot du port militaire. Ce mur, également fondé au niveau de la mer basse, sur une digue à pierres perdues, qui descend à 4 et 5 mètres en contre-bas du point zéro, recevait directement le vent du Nord-Est; il était exposé au choc des plus violents coups de mer, et, à quelques tassements près, jamais on ne s'était aperçu qu'il eût aucunement souffert.

Cependant la hauteur de la lame n'y était pas beaucoup moindre qu'au large, puisqu'il s'y trouvait 10 à 12 mètres d'eau au moment du plein de la mer.

Année 1812. Pendant la campagne de 1812, en même temps que l'on continuait les travaux du soubassement, les versements se multiplièrent au Nord de la batterie. Les enrochements n'éprouvèrent pas de dégradations sensibles, l'épaulement seul fut facilement attaqué sur quelques points.

Année 1813. En 1813, il ne fut plus versé que 270 mètres cubes, et, depuis cette époque jusqu'en 1824, la batterie a été abandonnée à elle-même : aucune dépense n'a été faite pour son entretien.

Cependant la mer, dans un laps de temps aussi long, avait notamment affaibli les enrochements : la forme des talus s'était, il est vrai, assez bien conservée, même après le coup de vent du 31 octobre 1823; mais il était à craindre qu'une nouvelle bourrasque, survenant avant qu'on eût le temps de faire les réparations nécessaires, ne fût suivie de quelque grande catastrophe; et c'est en effet ce qui arriva dans la tempête du

Année 1824. 3 mars 1824. Le second jour après la nouvelle lune, deux larges brèches furent ouvertes de chaque côté de la citerne, dont la maçonnerie, entièrement mise à nu, se maintint encore intacte au milieu de ce bouleversement. Le sol de la batterie était profondément affouillé en plusieurs endroits. Les blocs qui provenaient des enrochements détruits, fuyant devant la lame que chassait le vent du Nord-Ouest, avaient été se déposer à l'extrémité du prolongement de l'Est. On eut encore, dans cette circonstance, l'occasion de remarquer qu'au-dessous du niveau

de basse mer de morte eau, les talus n'avaient aucunement souffert; ce qu'attestaient les varechs dont les blocs étaient recouverts. L'effet destructeur de la lame ne se fit sentir que dans la partie supérieure; et cette observation vint à l'appui de celles que l'on avait précédemment faites.

La réparation de la batterie fut ordonnée; le Ministre décida, sur la proposition de M. le baron Cachin, que sa masse serait établie sur un plan concentrique au fort Dauphin, et l'étendue bornée au pourtour de ses revêtements extérieurs, de manière à assigner aux différentes parties de son relief les dimensions suivantes: Reconstruction de la batterie centrale.

Epaulement.	3 mètres.
Plate-forme pour l'artillerie.	8
Place d'armes.	13
Fossé.	6
Total. . . .	30

Les revêtements intérieurs devaient être maçonnés; ceux de l'extérieur semblaient, d'après le plan joint à la dépêche, ne devoir se composer encore que d'enrochements. Le peu de succès que l'on avait obtenu jusque-là de l'emploi de ce système, la crainte de voir se répéter des accidents dont on n'avait déjà que trop d'exemples, la conviction où l'on était que de simples moellons liés entre eux par le mortier seraient une garantie plus sûre que les plus gros blocs; tous ces motifs déterminèrent à engager M. l'Inspecteur général Cachin à autoriser, par forme d'essai, que l'épaulement fût maçonné sur toute son épaisseur. Cette proposition fut accueillie; mais les fondations ne purent être établies qu'au niveau des hautes mers de morte eau, attendu les déblais considérables qu'il eût fallu faire pour descendre plus bas. L'épaulement ainsi construit et jointoyé en ciment romain fut encore enveloppé de blocs du Roule, dont la hauteur atteignait le cordon en briques qui formait le couronnement du parapet. L'épaulement s'exécute en maçonnerie. Année 1825.

Toutes les réparations ordonnées étaient terminées à la fin de 1825. Année 1827.

Quatre hivers seulement avaient suffi pour que les enrochements eussent subi de notables changements, occasionnés surtout par la tempête des 26 et 27 janvier 1827, veille et jour de la nouvelle lune [1]. Un grand nombre de blocs furent entraînés vers l'Est; plusieurs points furent sensiblement dégarnis; et les grottes qui avaient résisté jusqu'alors, furent menacées d'une ruine prochaine. Leur conservation n'intéressait en rien la batterie, puisqu'elles en étaient fort éloignées; on n'en fait ici mention que pour prouver combien l'on doit peu compter sur la protection des blocs, qui se sont, en définitive, à peu près comportés comme le fit la petite pierre en 1803.

L'enrochement est encore attaqué.

Un fait qu'il est à propos de consigner, c'est que la mer qui a pu enlever les blocs les plus écartés de l'épaulement, a été impuissante sur ceux qui, en étant plus rapprochés, se trouvaient superposés et se chargeaient ainsi les uns les autres. Ils formaient sur quelques points une espèce de mur vertical, adossé contre la maçonnerie; et l'on ne saurait conséquemment douter que leur résistance ne fut de beaucoup supérieure à celle des plans inclinés. Quant à l'épaulement, il était resté parfaitement intact; et après que les mortiers eurent pris de la consistance, il put se conserver longtemps, malgré son parement en moellonnage, le peu de profondeur de sa fondation et la destruction successive de son enveloppe.

Tel est le précis historique des faits arrivés pendant le cours des travaux de la digue de Cherbourg avant 1830 et le résumé des opinions émises sur les divers moyens d'exécution employés jusqu'en 1830 pour la construction de cet important ouvrage.

[1] Dès le 11 novembre 1825 une tempête du vent de Nord-Ouest avait attaqué les enrochements du centre et en avait détaché un assez grand nombre de blocs. Il avait été fait le 15 un rapport sur cette première avarie.

TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

DE LA

DIGUE DE CHERBOURG

1830-1855.

PAR M. JOSEPH BONNIN,

Ingénieur de première classe des ponts et chaussées, chevalier de la Légion d'honneur,
attaché aux travaux de la digue de 1845 jusqu'à leur complet achèvement.

TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

DE

LA DIGUE DE CHERBOURG

1830-1853

Pendant le séjour qu'il fit à Cherbourg en septembre 1828, peu de temps avant l'achèvement du bassin de flot, le Ministre de la marine reconnut la nécessité de terminer les travaux entrepris pour l'établissement de la rade et pour sa défense, et il annonça que le gouvernement avait l'intention de ne pas différer plus longtemps la continuation des ouvrages qui avaient été commencés autrefois dans ce but, et qui se trouvaient interrompus depuis 1814. De retour à Paris, il fit donner à la digue le nom de son fondateur, Louis XVI, et il prescrivit de s'occuper immédiatement des projets d'achèvement de cette grande construction.

Dispositions prises en 1828 pour la reprise des travaux d'achèvement de la digue.

Le Ministre indiquait lui-même, comme un des premiers objets sur lequel devait se porter l'attention des ingénieurs, l'établissement d'un chemin de fer pour le transport des matériaux de la montagne du Roule au bassin du port de commerce. Il pensait que ce chemin devait contribuer à l'avancement des travaux, quel que fût le système à adopter pour la construction de la digue.

Établissement du chemin de fer du Roule. Planche 1.

Il invita également à examiner s'il ne serait pas avantageux de remplacer les bateaux à voiles, qui avaient servi jusqu'alors au transport

par mer des blocs de la montagne du Roule, par un nouveau système de bâtiments portant leur chargement sur le pont, susceptibles d'être déchargés avec promptitude et facilité, et remorqués par des bateaux à vapeur.

Ces moyens parurent effectivement avantageux, et un projet fut dressé en 1829 par MM. les ingénieurs Virla et Daviel, pour répondre aux intentions du ministre.

Le chemin de fer projeté par M. Virla, ingénieur des travaux hydrauliques, se trouve décrit dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1835, premier semestre, page 211. On voit dans cette description que le chemin de fer n'a été établi que sur une partie seulement du parcours des matériaux, et qu'il fait suite à un chemin ordinaire en empierrement qui se développe au pied des carrières, avec une pente de 7 centimètres par mètre.

Il en résulte la nécessité de faire usage de deux espèces de chariots, les uns roulant sur rails, les autres sur chaussées empierrés, et d'opérer en route le transbordement des matériaux. A ce défaut capital s'ajoute celui d'avoir employé à la confection de la voie des rails plats posés sur longuerines. La difficulté des réparations qui étaient nécessaires pour entretenir les voies en bon état et la mauvaise qualité des bois employés ont mis ce chemin hors de service avant l'achèvement de la digue.

Les inconvénients inhérents au système mixte de transports pour un parcours d'aussi peu d'étendue n'ont pu être atténués par le choix de dispositions accessoires, comme l'espérait l'auteur du projet; et, en fin de compte, les frais d'établissement et d'entretien de la voie et du matériel ont annulé les économies que la construction de ce chemin avait semblé promettre tout d'abord.

Construction d'un ponton d'essai pour les transports de matériaux par mer, sur la digue.

Le ponton projeté par M. Daviel et exécuté en même temps que le chemin de fer, était un bâtiment à fond plat et à murailles verticales, ayant un bord plus haut que l'autre pour faciliter la descente et l'im-

mersion des matériaux du chargement, qui était entièrement placé sur le pont formant plan incliné. A l'embarquement, les blocs devaient être déposés sur des plateaux-chariots par files parallèles transversales, suivant les lignes de plus grande pente du pont; au débarquement, on devait les pousser l'un après l'autre au bas du plan incliné où l'immersion se serait opérée facilement par le jeu de trappes à bascule. Lorsqu'un bloc aurait été lancé à la mer, le plateau, arrêté contre un heurtoir sur la trappe, devait être introduit dans la cale par un mouvement de bascule en sens inverse du premier; après cela on devait relever la trappe, pousser un deuxième fardeau sur le bord, et l'immerger de la même manière.

Trois hommes étaient nécessaires pour la manœuvre : l'un filant doucement un cordage de retenue pour modérer la vitesse pendant le mouvement de descente du bloc sur le pont, le long du plan incliné; un autre agissant sur un palan pour faire basculer la trappe et pour la relever; un troisième élevant ou rabattant les supports de la trappe pour l'introduction des plateaux dans la cale.

Ces dispositions pouvaient s'appliquer aussi au transport des moellons; en faisant usage de caisses à chariot dont les faces latérales auraient été assemblées à charnière sur le fond, et dont les côtés extrêmes auraient été tenus par des verrous. On aurait immergé le moellon en ouvrant un côté de la caisse par le bas. On aurait ouvert ensuite les quatre côtés par le haut, pour les replier l'un sur l'autre, et rentrer la caisse dans la cale lorsqu'elle eût été vide.

Le ponton portait 100 mètres cubes massifs de blocs ou de moellons, du poids de 2,600 kilogrammes l'un.

Plusieurs bâtiments semblables devaient être exécutés, si le premier donnait des résultats satisfaisants, comme on avait lieu de le croire. Mais les espérances de succès furent à peu près déçues. Lorsque le bateau se trouva achevé, les travaux de la muraille de la branche Est étaient en pleine exécution, et l'on vit que ce ponton ne pouvait non-

seulement être d'aucune utilité pour les ouvrages de maçonnerie, mais qu'il était même d'un usage incommode et non sans danger pour le transport des enrochements. On craignit surtout qu'il ne versât son chargement en rade ou même qu'il ne coulât, par suite d'accident, dans le trajet de Cherbourg à la digue, ce qui aurait pu former un écueil sur le passage des navires. Aussi, après deux ou trois voyages d'essai on renonça à le faire naviguer. (Les dessins du ponton à bascule de M. Daviel se trouvent dans l'atlas de la quatrième édition du *Cours de construction* de MM. Sganzin et Reibell.)

Ce ponton n'ayant ni gréement ni mâture, il fallait disposer des moyens spéciaux d'embarquement sur le bord du quai du port du commerce pour en opérer le chargement. On y établit des appontements en charpente, formant saillie sur le bassin, sous lesquels on fit arriver les waggons chargés venant de la montagne du Roule, et l'on transporta les matériaux des waggons sur les bâtiments, à l'aide de treuils à chariot roulant sur le haut de ces échafaudages. Ces dispositions ont pu convenir également bien à toute espèce de bateaux de transport, et l'on s'est servi de ces échafaudages pour charger les blocs et même les moellons dans les barques à voiles dont on a fait usage exclusivement pendant toute la durée des travaux.

Bateaux à vapeur remorqueurs

Des bateaux à vapeur étaient indispensables pour remorquer les pontons-projetés par M. Daviel et pour les autres parties du service de la digue qui n'étaient pas encore d'une nature bien déterminée. M. Daviel avait calculé que des bateaux de la force de trente chevaux seraient suffisants. Le directeur des travaux hydrauliques, M. Duparc, fit remarquer avec raison que la force calculée n'est pas toujours celle que l'on obtient à l'emploi, et il exprima l'avis que les remorqueurs devaient être de quarante chevaux. On en mit deux immédiatement en construction dans les chantiers de l'arsenal, l'un de quarante chevaux, l'autre de soixante, et on fit la commande de leurs machines à l'industrie privée.

Le premier de ces bateaux, *le Remorqueur*, devait recevoir un appareil d'un système nouveau, non encore éprouvé, dont l'idée fondamentale était de chasser de l'eau dans des cylindres horizontaux, communiquant librement par leur extrémité avec la mer, pour utiliser comme force propulsive la réaction de l'eau sur le piston moteur. Cette machine, exécutée par MM. Pelletan et Delabarre, n'a pas réussi, et elle a été mise au rebut après quelques essais infructueux.

L'autre bâtiment, *le Rameur*, fut muni d'un appareil ordinaire à haute pression, avec chaudières cylindriques, qui a fonctionné assez régulièrement pendant quelques années. Mais le système évaporatoire était sujet à des accidents qui en rendaient le service très-précaire et même dangereux. Ce bateau a dû être démoli, ainsi que ses machines, avant l'achèvement de la digue.

Jusqu'ici les préparatifs faits pour la reprise des travaux présentent des résultats peu satisfaisants. Cela tient, outre les causes déjà signalées, à des circonstances auxquelles il est juste d'avoir égard.

D'abord on ignorait encore quel serait le système suivi pour l'achèvement de la digue.

Le projet demandé en 1828 par le Ministre de la marine, et présenté par M. Duparc l'année suivante, était encore en discussion. Tout portait à croire que les bases essentielles de ce travail ne seraient pas modifiées; mais cependant, comme il n'y avait aucune certitude à cet égard, et que des combinaisons différentes étaient proposées par d'autres ingénieurs, on ne pouvait prendre que des dispositions préparatoires conjecturales.

Il est bien évident, par exemple, que la nature des matériaux, les lieux de chargement, la grandeur, la forme et les dispositions les plus convenables pour les bâtiments de transport et pour les remorqueurs, les quantités totales par espèces et par grosseur de matériaux à extraire des diverses carrières devaient être tout autres pour des murailles bâties à chaux et à sable que pour des ouvrages à pierres

sèches ou pour un massif d'enrochements en pierres perdues.

On ignorait également quel degré d'impulsion serait donné à la marche des travaux, et, par conséquent, quelle serait l'importance des transports par mer à effectuer à l'aide des remorqueurs. On ne pouvait également former que des présomptions vagues sur le temps nécessaire à l'achèvement de tous les ouvrages.

D'ailleurs l'emploi des bâtiments à vapeur était encore fort peu répandu, et la Marine faisait alors, sur ce sujet, des essais dont la digue a supporté son contingent. Il en était de même à l'égard des chemins de fer, qui étaient tout nouveaux en France à l'époque dont il s'agit.

Il n'y a donc pas lieu d'être surpris des mécomptes signalés. On doit reconnaître que l'ensemble de la combinaison d'un chemin de fer établi entre les carrières et le port, d'appontements avec treuils roulants pour embarquer les blocs, de pontons chargés sur le pont et remorqués par des bâtiments à vapeur, était bon en lui-même et pouvait être couronné d'un plein succès, comme cela a eu lieu depuis dans d'autres localités pour de grands travaux d'enrochements à la mer.

Reconnaissance en 1829 de l'état des anciens enrochements sous-marins des deux branches Est et Ouest de la digue.

Outre ces préparatifs, il était indispensable, avant de commencer les travaux de la digue, de reconnaître la situation des anciens enrochements. Les seuls profils que l'on possédait remontaient à 1788, et certainement il s'était opéré depuis cette époque de grands changements dans la configuration de la masse d'enrochements de pierrailles abandonnées aussi longtemps à l'action des lames.

Ces profils anciens avaient servi de base à M. Duparc pour apprécier et estimer les rechargements nécessaires à l'assiette de la muraille continue qu'il proposait d'élever sur toute la longueur de la digue.

Des profils nouveaux furent pris en 1829 sur l'étendue des deux branches et sur l'emplacement des musoirs extrêmes. Cette opération fit connaître que le cube des remblais nécessaires pour élever la base sous-marine en enrochements jusqu'au niveau des basses mers de forte vive-eau, où devaient commencer les ouvrages en maçonnerie suivant

les dispositions proposées, était de 357,638 mètres cubes géométriques pour la branche de l'Ouest, et de 97,909 mètres cubes pour celle de l'Est, ce qui, augmenté d'un quart pour tenir compte des tassements et des versements faits en dehors des formes géométriques de la base, donnait un total de 709,435 mètres cubes.

En comparant les profils nouveaux avec les anciens, on constata des différences importantes.

Les talus Nord des anciens profils se partageaient en deux parties dont les pentes étaient très-inégales. La première partie, à partir du fond jusqu'à 5 mètres environ en contre-bas du zéro des marées, présentait une inclinaison moyenne de 3 de base sur 2 de hauteur. Au-dessus de ce point, où l'action de la mer sur les moellons de l'enrochement commençait à s'exercer suivant l'opinion de la Commission de 1792, le talus s'adoucissait beaucoup, et sa pente moyenne, déterminée d'après huit profils, était seulement de $0^m,123$ de hauteur pour un de base ou environ 1/8.

Dans les profils nouveaux on remarqua que le partage du talus Nord en deux pentes différentes était bien moins prononcé qu'autrefois, et que l'action de la mer s'était étendue à une profondeur de plus de 5 mètres en contre-bas du zéro, et en quelques points même jusque sur le sable. En outre, la crête supérieure des talus s'était abaissée de 2 à 3 mètres par l'action des lames qui avaient rejeté dans le Sud une partie des moellons du Nord, et par suite augmenté la largeur de la base de 10 mètres moyennement. La pente de la partie supérieure du talus du Nord n'avait plus que $0^m,082$ de base pour un de hauteur ou un peu moins de 1/12. Mais ce talus était couvert de varechs, ce qui paraissait annoncer que l'action de la mer était terminée, et que la forme actuelle de l'enrochement était stable et définitive.

Des modifications avaient eu lieu aussi dans la hauteur du sable au pied du talus. A l'extrémité Est, un approfondissement de $0^m,50$ s'était produit. Au musoir Ouest, et même sur un profil pris à 200 mètres de

ce point extrême, on avait trouvé également un approfondissement du côté de la rade. Mais partout ailleurs le sable s'était élevé au-dessus du pied des talus jusqu'à 2 mètres environ de hauteur.

L'état des enrochements paraissait donc favorable à l'établissement de tel genre de construction que l'on jugerait convenable d'adopter pour terminer la digue. En supposant qu'on accordât la préférence aux ouvrages en maçonnerie proposés, M. Duparc faisait remarquer que l'on aurait peu de chose à craindre des tassements.

A la branche Est, il restait peu de rechargements à faire pour arriver au niveau des basses mers de vive eau d'équinoxe, et la muraille, dans presque toute sa longueur reposerait immédiatement sur les enrochements anciens.

Il n'en était pas de même à la branche Ouest où il y avait à faire, sur certains points, de nombreux versements de matériaux avant d'atteindre le niveau des basses mers. Mais il n'existait que des différences peu importantes dans l'ensemble des profils de cette branche, et la précaution de faire les rechargements à l'avance pendant l'exécution des travaux d'art de la branche de l'Est pouvait prévenir les dangers qui étaient la conséquence de cet état de choses. L'expérience a démontré, comme on le verra par la suite, que ces aperçus manquaient de justesse.

En faisant connaître les résultats de ces sondages au Ministre, dans le mois de décembre 1829, M. Duparc ajoutait que, quel que dût être le mode de construction préféré, il faudrait toujours que les rechargements en petites pierres fussent préalablement faits. Il demanda en conséquence des ordres pour entreprendre immédiatement les travaux qu'il y avait à exécuter au-dessous des basses mers, travaux qui devaient exiger la réunion d'un grand nombre de bâtiments de transport avant l'ouverture de la campagne suivante.

Travaux en 1830. Planches 1 et 2.

Le Gouvernement accorda un premier crédit de 70,000 francs pour l'année 1830, et dès les premiers mois on s'occupa des dispositions

nécessaires à la reprise des travaux. Les abords de la crique du Homet et du mur de quai Est de l'arsenal, entre cette crique et l'entrée de l'avant-port, furent dégagés pour faciliter l'embarquement des matériaux provenant des exploitations du bassin de flot qui étaient amoncelés sur les terre-pleins avoisinants.

Dix barques appartenant au Gouvernement furent réparés et mises en service, ainsi que des embarcations. Un personnel de conducteurs et de surveillants fut organisé et établi en résidence sur la digue pour surveiller les versements. On arrêta un tarif de prix pour le transport par mer, le versement et les autres mains-d'œuvre relatives aux enrochements, ainsi qu'un règlement sur les devoirs des maîtres chargés de la conduite des bateaux. Enfin, au mois d'avril, on se trouva en mesure de commencer les transports et les versements de pierres à la branche de l'Est.

Bientôt des particuliers vinrent offrir leurs bateaux pour transporter aussi des pierres à la digue. On en admit successivement jusqu'à cinquante-cinq dans le cours de la campagne.

Un bateau à vapeur de la flotte, *le Requin*, fut prêté à la Direction des travaux hydrauliques, pour aider aux mouvements par mer.

Avec ces ressources on transporta à la digue, en 1830, 78,000 mètres *massifs* de moellons, formant environ 133,600 mètres cubes d'*emmétrage*.

Cette même année on plaça aussi sur l'enrochement, au niveau des basses mers, quelques caisses en charpente qui furent remplies en béton pour servir d'alignement aux deux branches. Mais elles furent presque entièrement détruites dans le cours de l'hiver suivant.

Travaux et dépenses pour la digue en 1831.

Les travaux relatifs aux enrochements complémentaires furent continués avec les mêmes moyens en 1831. Le cube des matériaux transportés dans cette seconde campagne fut de 96,672 mètres massifs de moellons, ou 168,000 mètres d'emmétrage, pris comme précédemment dans les dépôts de l'arsenal et en partie au fort central de la digue.

On évitait de mélanger les écalins avec les moellons que l'on embarquait pour les enrochements. On les portait à Chantereyne, où ils servaient à l'exhaussement des terre-pleins de cette zone de l'arsenal.

Les budgets de ces deux exercices eurent à supporter une partie des dépenses de construction du chemin de fer du Roule, du ponton de M. Daviel, des machines des bâtiments à vapeur remorqueurs, des transports d'écalins à Chantereyne, des mouvements de matériaux divers à l'intérieur du nouvel arsenal; et même d'une fonderie neuve qu'on avait hâte de terminer et de mettre en service pour couler les pièces nécessaires au matériel roulant du chemin de fer du Roule; enfin de diverses mains-d'œuvre accessoires qui n'avaient que peu de rapport avec les travaux de la rade.

Situation des travaux à la fin de 1831. Planche 2. Planche 3, fig. 1 et 2. Planche 9, fig. 1, 2, 3 et 4.

A la fin de l'année 1831, la base de la branche Est se trouvait exhaussée dans toute sa longueur jusqu'au niveau des fortes basses mers de vive-eau, et présentait partout la largeur nécessaire pour l'assiette de la muraille projetée. Déjà une partie considérable des versements de matériaux avait dû être portée sur la branche Ouest, et il était à craindre que ces enrochements, destinés à rester exposés longtemps à l'action continue des vagues, avant l'exécution de la muraille, ne fussent déplacés de leur position et jetés au Sud dans la rade. Il n'était donc pas possible de continuer à dépenser annuellement 700,000 francs environ en enrochements complémentaires, et il était de toute nécessité qu'une décision fût prise sur les dispositions à adopter pour la continuation des ouvrages au-dessus du niveau des basses mers, avant l'ouverture de la campagne de 1832.

Projets présentés pour l'exécution de la digue en contre-haut du niveau des basses mers de vives-eaux.

Le projet présenté en 1829 par M. Duparc, et soumis à une Commission spéciale qui avait été formée à Paris pour examiner les divers moyens de construction applicables à la digue, reposait sur des principes tout à fait différents de ceux qui avaient prévalu jusqu'alors dans l'exécution des travaux.

Au lieu de continuer à faire usage des blocs et des petites pierres

qui ne présentaient à la mer que des matériaux sans liaison, M. Duparc proposait de construire un ouvrage dont toutes les parties ne formeraient qu'une seule et même masse et ne seraient pas exposées aux dégradations dont l'emploi des blocs isolés avait donné tant d'exemples.

Les faits observés à la batterie centrale depuis le commencement des travaux d'exhaussement en 1802 avaient démontré l'insuffisance des blocs indépendants pour la construction des parties hautes de la digue, et mis en évidence la supériorité des ouvrages en maçonnerie sous le rapport de la résistance contre les attaques de la mer.

La construction, en 1811 et 1812, du soubassement elliptique du réduit du fort central exécuté en maçonnerie, à partir du niveau des basses mers d'équinoxe jusqu'à celui des hautes mers d'équinoxe; celle du mur d'enveloppe de la batterie extérieure, en 1824 et 1825, qui avait assuré enfin la solidité de cet ouvrage (encore bien que ce mur ne fût fondé qu'au niveau des hautes mers de morte eau et parementé qu'avec de petits moellons); la conservation merveilleuse de quelques portions d'ouvrages en maçonnerie qui existaient avant le grand désastre de 1808 et qui étaient restées debout au milieu des blocs d'enrochement bouleversés dans cette tempête et dans toutes celles qui l'avaient suivie; l'exemple des jetées du port de commerce, de la chaussée d'accès et du fort du Homet, du fort élevé sur les roches de l'île Pelée; particulièrement celui du mur de quai Est de l'arsenal, bâti avec succès sur un enrochement de 5 mètres de hauteur maximum, étaient des faits qui ne laissaient aucun doute sur le succès que l'on devait attendre de l'emploi de la maçonnerie dans la construction de la partie de la digue qui devait s'élever *au-dessus du niveau des basses mers.*

En comparant la dépense à faire dans le système des maçonneries, d'après l'évaluation de M. Duparc, avec les estimations faites autrefois par M. Cachin, dans le système des blocs sans liaison, on trouvait deux

sommes à peu près égales. Mais si l'on prenait pour base d'appréciation dans l'ancien mode les dépenses *réellement appliquées* à la construction de la partie centrale, qui avait été élevée à hauteur complète sur une longueur de 500 mètres comprenant la batterie, et deux prolongements à l'Est et à l'Ouest, on trouvait, en faveur des maçonneries, une économie de plus de 13 millions de francs.

Les frais d'entretien devaient être peu considérables pour un ouvrage en maçonnerie. Au contraire, suivant l'ancien système, les blocs bouleversés par les tempêtes auraient exigé des remaniements indéfinis. On pouvait se faire une idée des dépenses d'entretien auxquelles ce système aurait entraîné, en considérant l'état où se trouvaient alors les prolongements Est et Ouest de la batterie centrale, qui avaient été élevés autrefois jusqu'à leur couronnement. Ils étaient tellement dégradés qu'on devait les envisager comme à moitié détruits, ou, en d'autres termes, comme représentant en valeur la moitié seulement de leur dépense de construction.

L'auteur du projet ne niait pas la possibilité de finir la digue en faisant usage de blocs indépendants, pourvu qu'ils fussent d'un volume individuel de plusieurs mètres cubes.

Mais en présence de la difficulté de se procurer les gros blocs nécessaires en quantité suffisante, et des dépenses qu'exigeraient l'extraction, les mouvements et transports par terre et par mer, et la mise en place sur la digue de ces lourdes masses; il exprimait l'avis que le parti le plus simple et même le seul d'un succès probable, serait de faire *sur place* des blocs artificiels, à l'instar de deux fragments de maçonnerie cubant chacun 12 à 15 mètres, qui dataient du temps des premiers travaux, et qui n'avaient pas été dérangés par les lames depuis trente ans qu'ils étaient exposés sur l'enrochement à toute la violence de la mer.

Mais alors il valait mieux ne faire, sur toute l'étendue de la digue, qu'un seul et même bloc, une muraille partant du niveau des plus

basses marées et s'élevant à quelques mètres au-dessus des plus hautes eaux, avec une épaisseur convenable.

On voit, dans le *Cours de construction* de MM. Sganzin et Reibell, quatrième édition, tome II, page 280, que M. Lamblardie fils, inspecteur général des travaux maritimes, avait proposé de tenter l'essai de murailles en pierres sèches pour l'achèvement de la digue. L'expérience n'eût pas tardé à faire condamner ce système, par l'importance des avaries que les ouvrages auraient éprouvées pendant leur exécution.

M. Leroux, ingénieur des travaux hydrauliques du port de Cherbourg, avait présenté aussi deux projets différents. L'un d'eux était dans le système ancien des enrochements en pierres perdues rechargés par des gros blocs, mais avec un allongement considérable dans les talus vers le large.

L'autre consistait dans l'établissement de deux murailles parallèles, construites sur les enrochements de base à partir du niveau des basses mers avec *remplissage en pierrailles de l'intervalle qui les séparait.*

M. Duparc faisait remarquer avec raison, que la meilleure disposition à donner aux ouvrages de maçonnerie était celle d'une muraille *simple*, dont toutes les parties, intimement liées entre elles, ne formeraient qu'un seul et même corps. Avec deux murs parallèles, réunis de distance en distance par des traverses et comprenant entre eux un espace rempli de pierrailles, il eût fallu attribuer au couronnement de la digue une largeur qui n'était point nécessaire, ou bien réduire les cases centrales à des dimensions exiguës dont les inconvénients auraient largement fait compensation aux économies qu'on en aurait attendues. Les difficultés et les avaries en cours d'exécution auraient été beaucoup plus considérables.

Projet de muraille en maçonnerie présenté par M. Fouques-Duparc, alors directeur des travaux mar. à Cherbourg. Planche 3, fig. 1 et 2.

La muraille simple, proposée par M. Duparc, devait être fondée le plus bas possible au niveau des basses mers de forte vive eau. Elle se composait d'une première couche d'arasement en béton, de $0^m,80$ de

hauteur moyenne, portant une muraille maçonnée à chaux et à sable, avec parements en granit du côté du large, et parements en moellons d'appareil du côté de la rade, sur une hauteur de 7m,85; le tout surmonté d'un parapet de 2m,50 d'épaisseur et de 1m,65 de hauteur, établi sur la rive Nord vers le large, et construit de la même manière que la partie inférieure.

La largeur était de 11m,09 à la base sur le béton de fondation, et de 9m,08 à la hauteur de la plate-forme supérieure, destinée à servir de chemin de communication.

Le fruit du parement Nord était de 1/20 et celui du parement Sud de 1/5. Avec une inclinaison réduite à 1/20 pour le parement Nord, contre lequel la mer exerce ses plus grands efforts, on réalisait une solidarité plus parfaite entre les pierres des diverses assises, et l'on diminuait les chances d'avaries, en même temps que les dépenses ultérieures d'entretien. Le fruit de 1/5 pour le parement Sud présentait l'avantage d'augmenter la stabilité de la muraille sans nuire à sa conservation.

Le pied du mur, du côté de la rade, devait être appuyé par une risberme en moellons de 5 *mètres de largeur*, élevée environ à 3 mètres au-dessus du niveau du zéro des marées, ce qui donnait au massif d'enrochement une largeur de 8 mètres en dehors de la muraille au *niveau des fondations*, d'après le talus à 45 degrés, que prennent et conservent les pierrailles versées de ce côté de la digue.

Les talus beaucoup plus allongés que présentait la superficie de l'enrochement sous-marin du côté Nord vers le large, en avant de la muraille, n'auraient pu résister par eux-mêmes aux affouillements qui se seraient produits par l'effet du ressac des lames contre le parement du mur. Il était indispensable de les recouvrir avec des blocs naturels de la plus grande dimension possible pour les protéger et pour assurer l'assiette de la muraille.

Toutefois la crête des enrochements de défense en blocs sup-

perposés aux moellons ne devait pas s'élever à plus de 2 mètres au-dessus du zéro, moins par économie que dans la crainte que ces blocs ne fussent trop aisément et trop souvent agités par les vagues, et qu'ils ne fussent même transportés par elles vers les extrémités de la digue; l'expérience ayant appris depuis longtemps que les couches de blocs naturels n'étaient douées d'une stabilité d'ensemble suffisante qu'en contre-bas du niveau des basses mers de morte-eau.

On ne saurait nier que les enrochements portés à un niveau plus élevé n'eussent offert l'avantage de diviser la mer et d'amortir ainsi l'effet du choc des lames contre le mur. Mais, comme le faisait remarquer l'auteur du projet, c'était là un avantage inutile, puisqu'il n'y avait rien à craindre du choc instantané ni de la chute des lames sur des maçonneries dont les dimensions seraient plus que suffisantes pour en assurer la stabilité, qui seraient d'ailleurs bien exécutées, bien pleines, bien homogènes, et dont les faces exposées à la mer seraient protégées par des parements en pierres de taille d'une grande dureté.

La stabilité de la muraille était calculée pour résister à un effort de 16,000 kilogrammes par mètre carré, dans le cas du renversement, et de 12,000 kilogrammes dans le cas de glissement sur la base. D'après les faits observés, l'auteur du projet supposait que la force maximum de la mer était comprise entre 3,000 et 4,000 kilogrammes par mètre carré pendant les plus violentes tempêtes.

On a reconnu depuis que cette appréciation était beaucoup au-dessous de la vérité; mais l'erreur commise n'a pas eu de conséquences fâcheuses, parce que la résistance attribuée de fait à la muraille était supérieure à celle qui paraissait strictement indispensable, et qu'en aucun temps les vagues ne frappent contre elles sur une très-grande longueur *au même instant;* ce qui permet à la partie attaquée de profiter de la résistance propre aux parties voisines, qui ne reçoivent pas le choc de la mer au même moment.

L'avis de la Commission supérieure, chargée d'examiner les projets

Avis de la Commission spéciale d'examen à Paris, pour l'adoption du projet de M. Fouques-Duparc. Planche 3.

d'achèvement de la digue, fut que le profil de cet ouvrage devait, conformément aux propositions de M. Duparc, être formé de deux parties distinctes, savoir :

1° Un massif de base en enrochements ou pierres perdues recouvert d'une croûte de gros blocs de 1m,25 d'épaisseur moyenne répandues sur un talus d'environ 5 mètres de base pour 1 de hauteur jusqu'à 5 mètres en contre-bas du niveau des plus basses mers.

2° Une muraille maçonnée avec mortier hydraulique et parement en pierres de taille du côté du large, établie sur un arasement *en béton*, de 0m,80 d'épaisseur moyenne, coulé sur le couronnement du massif de base. La muraille devait être couronnée par un parapet.

Mais, par crainte des affouillements de l'enrochement du *côté du large*, en avant du parement extérieur vertical de la muraille, la majorité de la Commission fut d'avis qu'il convenait de construire une risberme en béton de 7 mètres de largeur, qui n'eût été autre chose que l'extension de la couche de fondation de la muraille, en ayant néanmoins la précaution de séparer cette risberme du reste de la couche par un vannage destiné à former d'avance une ligne de rupture qui eût évité les cassures irrégulières produites par les tassements inégaux, et qui eût permis de faire au besoin des réparations ultérieures au moyen de rechaussements exécutés en ciment de Pouilly.

La Commission exprimait aussi l'avis que des contre-forts ajoutés à la muraille, du côté du Sud vers la rade, seraient inutiles, et qu'ils seraient même nuisibles en raison de l'inégale compressibilité du sol factice sur lequel la muraille devait être élevée.

Elle ajoutait que le système mixte :

D'enrochements recouverts d'une couche de gros blocs du côté du large, qui offrait dans la localité des garanties de solidité à peu près certaines pour la partie inférieure au niveau des basses mers,

Et de maçonnerie hydraulique avec parements en pierres de taille pour la partie supérieure à ce niveau,

Lui paraissait applicable aussi à la construction des musoirs de la digue, en faisant usage de quelques blocs artificiels pour consolider les parties du massif de base de ces musoirs où le besoin s'en ferait sentir.

Décision ministérielle du 11 avril 1832 sur le mode d'achèvement de la digue.

L'avis de la Commission fut approuvé et notifié par une dépêche ministérielle du 11 avril 1832.

Composition des mortiers et fabrication des ciments.

Avant de commencer les travaux de maçonnerie, on avait fait des recherches sur la composition des mortiers qu'il conviendrait d'employer. Les expériences avaient démontré que les mortiers dont on faisait usage dans les travaux de l'arsenal, et qui étaient composés de chaux de Blosville ([1]), de sable et de ciment de têts de poterie, étaient plus coûteux, prenaient moins vite et acquéraient moins de résistance que ceux qu'on pouvait obtenir en remplaçant les têts de poterie par la brique pilée; et que ces derniers étaient eux-mêmes inférieurs à ceux dans lesquels on substituerait l'argile cuite à la brique.

En conséquence, on fit construire des fourneaux pour cuire l'argile, en leur donnant à peu près les mêmes dispositions qu'à ceux qui servent à faire rougir les boulets, avec la différence que les grilles y étaient remplacées par une aire en gueuses de fonte jointives, sur lesquelles on répandait l'argile. La flamme passait par des carneaux sous cette aire, et revenait par-dessus en grandes nappes. Lorsque les gueuses étaient arrivées au rouge brun, on cuisait à un degré convenable déterminé par expérience 1 hectolitre 1/2 d'argile environ en cinquante minutes, y compris le temps d'introduire, d'étendre et de retirer ensuite la matière.

Chaque fourneau pouvait cuire moyennement, en vingt-quatre heures, 4 mètres cubes de ciment. Les fours étaient établis à Chantereyne, région Sud du nouvel arsenal, dans un hangar spécial, construit

([1]) La chaux de Blosville est une chaux naturelle, médiocrement hydraulique, qui est fabriquée à environ neuf lieues de Cherbourg, près Sainte-Mère-Eglise et sur les rives de la route de Paris à Cherbourg. Elle est transportée vive en fragments, par des voitures couvertes.

pour les abriter et pour emmagasiner les autres matières destinées à la préparation des mortiers de la digue.

Le ciment devait être incorporé dans les maçonneries de la muraille, sur 2 mètres d'épaisseur en arrière du parement Nord, et dans la partie correspondante de la couche de fondation. Le reste de la largeur du mur devait être construit avec du mortier de sable et de chaux de *Blosville* seulement, à l'exception du parement Sud qu'on devait bâtir comme le parement Nord, avec du mortier contenant du ciment d'argile.

Essais sur la confection des bétonnages de fondation des murailles en maçonnerie.

On avait fait aussi, en 1830, des essais relatifs à la manière de procéder au bétonnage de la couche de fondation, et on en avait conclu qu'il serait difficile de faire cette opération en rade pendant la basse mer, et surtout de remplir les caisses qui devaient former la rive Nord de cette première couche. Il paraissait difficile de maintenir les caisses dans leur position jusqu'à ce qu'elles fussent suffisamment lestées, et de fixer à une distance convenable les embarcations chargées de béton.

On croyait aussi que l'on ne disposerait pas d'un temps assez long pour terminer l'opération en une seule marée basse, et l'on craignait que le clapotage à mer haute ne détériorât le béton.

D'après cela, on essaya de travailler à la formation de la première couche en immergeant le béton avec des caisses à clapet pendant la haute mer. Mais l'état habituel d'agitation de l'eau au-dessus de la base sous-marine de la digue aurait contrarié constamment l'exécution du travail à flot; et le béton eût été toujours plus ou moins délavé à l'immersion. Aussi on renonça à ce mode, et l'on se décida à faire tout le bétonnage de la couche de fondation pendant les basses mers de viveeau, dans le moment où le dessus de l'enrochement était à sec et permettait de porter à bras d'hommes le béton des chalands dans les fondations de la muraille.

Confection, durcissement transport, immersion de blocs artificiels de 6mc

Cependant, pour diminuer la quantité d'ouvrages à exécuter à basse mer, et pour donner une plus grande résistance à la risberme en béton qui devait rester exposée à l'action de la mer du *côté du large*, on prit

le parti de faire usage, pour la construction de cette risberme, de blocs artificiels en béton et en maçonnerie, construits à terre et transportés à la digue après leur durcissement.

pour la rive Nord des fondations des murailles vers le large. Planches 1, 2.

La rive Nord de la risberme était formée par une file de blocs de béton construits dans des caisses en bois et échouées sur la digue avec leur enveloppe. Ils étaient placés aussi régulièrement que possible à 0m,33 de distance moyenne les uns des autres, et dirigés du Nord au Sud. En dedans de cette première ligne, des blocs artificiels de maçonnerie formaient deux autres files, dont la première régnait dans la largeur de la risberme et la seconde *sous la muraille*. Tous ces blocs étaient transportés à la digue et échoués de la manière suivante. Les fonds des caisses des blocs en béton, de même que les grillages de ceux en maçonnerie, portaient des traverses saillantes pour la suspension, le transport et l'immersion. Ces opérations se faisaient avec de petits pontons de 2 mètres de largeur, et de 1m,60 de hauteur, tirant 0m,45 d'eau à l'état lége et 1m,15, chargés d'un bloc de 6 mètres cubes, pesant environ 7,000 kilogrammes dans l'eau.

On embossait un ponton sur chaque bloc et on formait un convoi que remorquait le bateau à vapeur de service, soit de jour, soit de nuit. Arrivés en place, on fixait les pontons aussi bien que possible dans l'alignement voulu à l'aide d'amarres, et on déposait les blocs sur l'enrochement en filant, avec ensemble, les cordages des quatre palans auxquels ils étaient suspendus. On dégageait ensuite les estropes placées au bas de l'appareil de suspension, ou les tenailles à échappement que l'on substitua aux estropes, qui étaient quelquefois difficiles à retirer, et l'on ramenait les pontons à Chantereyne au chantier de construction des blocs artificiels pour recommencer la même opération à la marée suivante.

Une fois que les blocs étaient placés sur la risberme, il ne restait à bétonner à basse mer que dans les intervalles qui les séparaient et dans toute la zone Sud de la fondation, où l'on ne mettait pas de blocs

artificiels. La risberme tout entière, et la première zone de 2 mètres de largeur, sous la rive Nord du mur, était faite avec du mortier de ciment d'argile cuite, dit *mortier rouge*. Le reste de la fondation était exécuté avec du béton à chaux de Blosville et à sable.

Ces procédés, appliqués à l'exécution de la risberme, présentaient d'assez grandes difficultés. Pour placer les caisses sous l'eau avec quelque précision, il fallait trouver réunies les circonstances de temps et de mer favorables qui se présentaient rarement; et il en résultait le double inconvénient que la régularité laissait beaucoup à désirer et que la pose des caisses n'avançait pas toujours avec une vitesse suffisante. La possibilité de bétonner à découvert dans la couche des fondations étant bien constatée, il était naturel de faire aussi sur place le remplissage en béton des caisses de la rive Nord. Toutefois, on ne prit ce parti que dans le cours des campagnes suivantes.

Premiers travaux de fondation exécutés en 1832.

Lorsque la couche générale des fondations en blocs artificiels et en béton était formée et avait pris un peu de consistance, on posait sur elle une file de tablettes minces en pierres schisteuses sous le parement Nord de la muraille, et une autre sous le parement Sud.

On plaçait ensuite la première assise en granit du côté du large, et les assises en moellons smillés du Becquet du côté de la rade, puis on arasait avec de la grosse maçonnerie.

Une deuxième assise fut construite avant la fin de la campagne de 1832 sur une partie de la longueur des fondations entreprises.

Pendant qu'on exécutait ces travaux d'art, on versait des blocs bruts, provenant des carrières du Roule et du Becquet, sur le talus extérieur de la base de la digue, pour recouvrir et défendre les enrochements.

La crête supérieure de ces blocs de défense s'appuyait contre la rive de la risberme en béton. On avait soin de n'en pas mettre sur cette risberme même. Ces blocs étaient apportés à la digue dans des barques à voiles, et versés à haute mer par les équipages de ces navires avec les

seules ressources du bord. Leur cube individuel était moyennement de 1/3 à 1/2 mètre cube, et celui des plus gros de 1 mètre cube.

Situation des travaux à la fin de 1832. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 3, fig. 1 et 2. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

Lorsque l'on suspendit les travaux dans les derniers jours d'octobre, la couche de fondation se trouvait exécutée sur une longueur de 104 mètres, la première assise en granit sur 90 mètres, et la deuxième sur 70 mètres.

Les versements de blocs faits au Nord de la risberme, sur le talus du côté du large, présentaient des amas irréguliers auxquels on croyait qu'il serait nécessaire de donner un arrimage plus convenable de main d'homme; mais les inégalités disparurent à la suite d'un coup de vent de Nord-Est qui dura du 5 au 8 novembre sans interruption.

Effets du coup de vent du large du 5 au 8 novembre 1832.

C'était la première fois que le système adopté pour l'achèvement de la digue se trouvait soumis à une épreuve sérieuse, et le résultat en fut tout à fait satisfaisant. Les deux assises en granit restèrent intactes, pas un joint ne s'ouvrit. Des délavages de peu d'importance se produisirent sur des points où le béton avait été récemment versé à l'extrémité Est de la couche de fondation. La risberme du large n'éprouva aucune dégradation.

Huit caisses de rive eurent leur dessus en planches enlevé, et l'on vit que le béton intérieur avait acquis une bonne consistance, et que l'action de la lame sur sa surface avait été absolument nulle. Trois blocs naturels, qui avaient été portés sur les maçonneries, n'avaient pas laissé trace de leur passage. D'autres coups de vent qui se produisirent dans la direction du Nord-Ouest et du Nord ne changèrent rien à cet état de choses.

Travaux en 1833.

L'année suivante, on continua les travaux d'après les mêmes procédés, sauf les deux modifications suivantes :

1° Le parement Sud, commencé avec des moellons du Becquet smillés entremêlés de blocs, présentait des joints larges et nombreux qui donnaient prise à la mer, et les moellons étaient facilement renversés par la lame. Pour éviter cet inconvénient, et pour s'affranchir

de la main-d'œuvre fort longue et des retards préjudiciables qu'occasionnaient la préparation, la pose et le dérasement des moellons smillés, le directeur (M. Fouques-Duparc) avait demandé, dès l'origine de la campagne, à y substituer des petites pierres de taille de granit qui lui paraissaient plus avantageuses sous le rapport de la durée, de la force et de la facilité d'exécution, et qui ne devaient pas donner lieu à une augmentation appréciable de dépense. Cette proposition ne fut approuvée que tard, et l'on ne put profiter pendant une partie de l'année des avantages qui en résultaient;

2° Un tassement très-sensible de la première portion de muraille qui avait été fondée en 1832, et *exhaussée jusqu'au niveau des plus hautes marées en* 1833, avait occasionné la rupture de la couche de béton au pied de la première assise. Cet effet avait été prévu, et on avait cherché à déterminer la direction de la ligne de rupture au moyen d'une file de palplanches enfoncées de $0^m,40$ à $0^m,50$ dans le béton de remplissage entre les rangées de blocs artificiels; mais cette précaution n'avait pas eu le résultat qu'on s'en était promis. La cassure avait eu lieu dans le prolongement même du parement. Les palplanches avaient fait corps avec le béton, sans diminuer sensiblement la résistance de la masse; aussi on prit le parti de les supprimer.

Situation des travaux à la fin de 1833. Travaux en 1834. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 3, fig. 1 et 2. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

La campagne de 1833 donna des résultats inférieurs à ceux qu'on avait espérés. Les 100 mètres de muraille fondés l'année précédente furent élevés au niveau des hautes mers d'équinoxe. On fonda une nouvelle tranche de 86 mètres de longueur seulement, sur laquelle on ne parvint à poser que 60 mètres de première assise et 18 mètres de deuxième.

On construisit sur le môle Nord du port militaire un magasin et des fourneaux à cuire l'argile pour suppléer à l'établissement de Chantereyne, que l'extension des travaux de maçonnerie rendait insuffisant.

Pendant ces deux premières années, on éprouva des pertes de temps notables, par suite de l'impossibilité d'occuper toujours utilement les

ouvriers lorsque la mer était haute, inconvénient qui devint moins grand à mesure que l'on s'éleva. Il y eut d'ailleurs : à préparer tous les moyens d'exécution ; à confectionner le matériel, et à construire des établissements provisoires à terre et à la digue. Il fallut aussi établir au-dessus du niveau des hautes mers un terre-plein de communication provisoire entre la batterie centrale et le point où l'on avait commencé la muraille définitive, avec une rampe d'accès du côté da la rade pour descendre au niveau des fondations. Ces ouvrages provisoires furent établis à l'abri d'un mur en pierres sèches, protégé par des blocs naturels du côté du large.

Toutes ces circonstances, combinées avec la nouveauté et les difficultés réelles des travaux, expliquent le peu d'avancement des ouvrages pendant les deux premières campagnes.

Les résultats obtenus en 1834 furent plus satisfaisants. Travaux en 1834

La première partie de la muraille fut exhaussée de deux assises au-dessus du niveau des hautes mers d'équinoxe. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 3, fig. 1 et 4.

La deuxième partie, qui avait été fondée l'année précédente, fut élevée au niveau des hautes mers de vives-eaux ordinaires. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

Des fondations nouvelles furent entreprises sur 216 mètres de longueur, et même une tranche de muraille de 64 mètres fut élevée sur ses fondations jusqu'au niveau des hautes mers de mortes-eaux. Le reste était arasé jusqu'au-dessus de la première assise inférieure, à l'exception des 30 derniers mètres seulement, où la première couche n'avait pu être terminée.

L'effet des tempêtes sur la digue pendant le cours de cette année mit en évidence la supériorité des ouvrages en maçonnerie sur ceux en enrochements. La muraille définitive de la branche Est résista aux attaques de la mer, tandis que le chemin de communication provisoire en *pierres sèches* fut bouleversé et même coupé à plusieurs reprises, malgré les blocs de défense qui en protégeaient le pied du côté du large.

Effets de la mer sur la risberme en béton du côté du large.

On reconnut aussi que la risberme en béton de 7 mètres de largeur établie entre le pied de la muraille et les blocs de défense ne présentait pas une solidité suffisante. Par le siphonnement des lames qui agissait en-dessous et de bas en haut, et par suite de l'insuffisance de son épaisseur, cette risberme se fissura dans les intervalles des blocs artificiels dont elle était composée, et se sépara ainsi en plusieurs parties indépendantes les unes des autres. Cet effet s'était déjà manifesté à la suite des tempêtes de la campagne précédente, mais il était maintenant beaucoup plus prononcé, et tout portait à croire qu'il augmenterait encore. On pensait cependant que cette risberme, toute disloquée qu'elle était, remplirait encore son objet, en empêchant par sa masse les affouillements au pied de la muraille.

Les ingénieurs proposèrent, ce nonobstant, de la recouvrir avec des blocs naturels de défense qui la cacheraient entièrement, et qui, appuyés l'un contre l'autre, formeraient une surface générale sur laquelle la mer n'aurait que peu de prise. Cela valait mieux, en effet, que de la laisser détruire par les blocs isolés que les vagues jetteraient sur elle. Mais dès que cette nécessité était reconnue, il devenait clair que cette risberme était à peu près superflue, et qu'elle pouvait être réduite à une simple rangée de caisses de béton ou de blocs de maçonnerie placés en avant de la couche de fondation, et que les blocs naturels étaient suffisants pour le reste.

On ne pouvait, en effet, espérer que cette risberme se maintînt longtemps sous des blocs d'une grande dureté qui étaient agités par les vagues pendant tous les coups de vent du large. En la recouvrant de blocs, on ne faisait qu'en cacher les dégradations ultérieures, qui heureusement étaient sans influence sur la solidité de la muraille; puisque l'expérience confirmait que les blocs naturels de défense étaient doués d'une stabilité d'ensemble assez complète pour prévenir les affouillements et pour remplacer ainsi avantageusement la risberme détruite.

Toutefois, on continua à construire cette risberme en maçonnerie

et en béton encore pendant plusieurs années, en se conformant au projet approuvé.

Une faute que l'on commettait pendant ces premières campagnes était de prolonger des travaux de maçonnerie jusque dans la mauvaise saison, où la fréquence des coups de vent occasionnait de graves avaries.

On commençait aussi beaucoup trop tôt, de sorte que les travaux préparatoires, ainsi que les premiers ouvrages, se trouvaient souvent détruits dans les coups de vent inévitables de l'équinoxe du printemps, et même des premiers jours du moi de mai.

Tassements observés en 1834 dans les enrochements et les maçonneries en exhaussement à la branche Est de la digue.

On observa un tassement très-prononcé sur la tranche de muraille exhaussée en 1834. L'extrémité Ouest, qui avait déjà participé au tassement de la partie élevée en 1833, s'était affaissée moins que l'extrémité Est, et les deux bouts de cette longueur, qui correspondaient à l'emplacement de deux cônes, avaient moins tassé que le milieu.

Une différence sensible s'était manifestée aussi dans le sens *transversal* par un renversement de la muraille du Nord au Sud, qui avait augmenté le fruit de la partie correspondante du parement Nord, et diminué celui du Sud. Mais ce tassement s'était effectué avec une telle continuité, que la masse de la maçonnerie n'avait pas éprouvé la moindre déchirure. Des changements dans la hauteur des assises ont suffi pour rétablir plus tard le niveau de l'ouvrage dans la partie supérieure; et l'augmentation progressive du fruit du parement Nord, dans les parties déversées au Sud, a permis de ramener l'arête de couronnement à la direction rectiligne.

Le tassement constaté en 1834, sur la portion de muraille élevée dans le cours de cette campagne, était $0^m,26$ à l'extrémité Est, $0^m,18$ à l'extrémité Ouest, et au milieu de $0^m,41$ au Nord et $0^m,52$ au Sud.

Ces tassements inégaux résultaient du défaut d'homogénéité de la base sous-marine en enrochements, qui présentait un sol plus résistant dans l'emplacement des anciens cônes que dans leurs intervalles,

et en général plus résistant aussi du côté du Nord que du côté du Sud ; le premier côté ayant été beaucoup plus exposé à l'action des vagues que le second. Il faut savoir d'ailleurs qu'à l'époque de la formation primitive des *digues partielles* intermédiaires aux cônes, on avait opéré tous les versements au *Nord* de la ligne des centres successifs de ces cônes, dans la prévision que la masse de ces digues serait toujours repoussée au Sud par l'effet des tempêtes. C'est effectivement ce qui avait eu lieu dans une certaine mesure ; car la crête Sud de l'enrochement s'était déplacée de 10 à 15 mètres, depuis l'époque de sa formation.

Mais il restait des lacunes qu'il fallait combler entre quelques cônes avec des enrochements nouveaux versés dans le cours des campagnes qui précédèrent immédiatement la construction de la muraille en 1832 ; et naturellement ces rechargements présentaient moins de résistance que les parties tassées par la mer et par le propre poids des matériaux pendant de longues années.

Une solution de continuité avait été ménagée entre les portions de muraille exhaussées en 1833 et en 1834 pour prévenir le déchirement entre deux masses de maçonnerie qui devaient éprouver des tassements inégaux, et on avait rempli provisoirement le vide avec des libages posés à sec. Cette partie provisoire fut détruite par la mer dans les coups de vent de l'automne, et les blocs qui la composaient furent jetés sur la risberme. Les reprises des autres portions de murailles ont été faites par la suite sans laisser aucune lacune de ce genre, et les tassements ne se sont pas manifestés plus particulièrement sur ces points que sur d'autres.

Substitution de chalands aux bâtiments à voiles pour les transports des matériaux des maçonneries, et spécialement des mortiers et bétons.

L'expérience fit reconnaître tous les jours de plus en plus l'incommodité des bâtiments à voiles pour le transport du mortier et du béton. On construisit en conséquence des chalands à fond plat, tirant peu d'eau, d'une grande stabilité, susceptibles d'échouer sur les moellons de la risberme Sud, sans éprouver de fatigue, et faciles à décharger à flot ou échoués. Les deux premiers que l'on fit ne portaient que 6 mètres

massifs chacun, et l'on vit tout de suite que cette capacité était insuffisante. On en construisit deux autres d'une capacité double, et ceux-ci ont servi de type pour la confection de tous ceux qui ont été nécessaires par la suite. Le nombre en fut porté à douze en 1834.

Il y avait en outre dix pontons affectés au transport des blocs artificiels en béton et en maçonnerie.

En 1835 des matières nouvelles furent introduites dans la composition des mortiers employés à la digue. Jusqu'alors on n'avait fait usage, comme on l'a dit précédemment, que de la chaux de Blosville, et d'un ciment d'argile cuite sans mélange de chaux et de sable. Emploi des chaux hydrauliques artificielles et pouzzolanes calcaires artificielles.

Les composés nouveaux, qui furent présentés à Cherbourg par M. Rousseau, étaient une chaux hydraulique artificielle et une pouzzolane calcaire artificielle fabriquée à Paris suivant les procédés de M. Saint-Léger. Les essais que l'on fit établirent leur supériorité sur les mortiers que l'on employait précédemment, et engagèrent les ingénieurs à en proposer l'essai en grand, malgré l'élévation du prix.

Ils n'osaient demander la substitution immédiate et définitive de ces matières nouvelles aux anciennes, craignant que dans des travaux à la mer exposés à être interrompus par le mauvais temps, et où souvent la mise en œuvre des mortiers ne suit pas immédiatement la fabrication, un degré d'hydraulicité trop prononcé et une prise trop prompte ne fussent pas sans inconvénient. Ils en proposèrent l'usage seulement pour la risberme en béton, dont la surface est exposée directement à l'action des vagues, et pour la zone de 2 mètres de largeur en arrière du parement Nord, tant dans la couche de fondation que dans les assises superposées, enfin pour la pose des pierres de taille des parements.

Le mortier, pour la zone de 2 mètres de largeur sous la rive Nord de la muraille et pour toute la risberme, fut composé de 0^{mc},75 de chaux de Paris coulée, 0^{mc},30 de pouzzolane et 0^{mc},50 de sable. C'était le plus énergique de tous ceux qu'on avait faits comme échantillons.

Pour la maçonnerie, qui avait été faite jusqu'alors avec parties égales de chaux de Blosville, d'argile cuite et de sable, sur 2 mètres de largeur derrière le parement Nord, on adopta un dosage de $0^{mc},40$ de chaux de Paris coulée et de 1^{mc} de sable, qui pouvait être substitué à l'ancien mortier sans augmentation de dépense, et qui offrait sur lui l'avantage d'éprouver des détériorations superficielles moins prononcées par l'effet de l'immersion en eau de mer, en donnant tout autant de résistance.

Pour la pose des parements, on adopta un mortier composé de $0^{mc},50$ de chaux de Paris coulée, $0^{mc},30$ de pouzzolane et $0^{mc},70$ de sable, un peu moins coûteux que celui de la risberme.

Tout le reste de la muraille devait être exécuté en mortier de chaux de Blosville et de sable, comme cela avait eu lieu précédemment.

Pour atténuer l'augmentation de dépenses résultant de cette innovation, le directeur (M. Fouques-Duparc) proposait de réduire la largeur de la risberme Nord, vers le large, en faisant remarquer que la grande dimension qui lui avait été attribuée en vue de prévenir les affouillements était devenue inutile, depuis que l'expérience avait prouvé que ces affouillements ne tendaient pas à se produire, et qu'elle avait même l'inconvénient de rendre cette partie de la digue plus attaquable par le siphonnement de la lame, en raison de son peu d'épaisseur.

Moins large de 2 à 3 mètres, elle eût mieux résisté à ce dernier effort, que l'on n'avait pu combattre jusqu'alors qu'au moyen d'une surcharge en petits blocs de défense.

Sondages de la rade en 1833, et leur influence sur la marche des travaux de la digue.

L'ordre suivant lequel les travaux de la muraille marchaient fut mis en question par suite du résultat des sondages qui avaient été faits dans la rade en 1833, sous la direction de M. Beautemps-Beaupré. Cet ingénieur hydrographe avait signalé que le banc sous-marin de l'île Pelée, qui se prolonge dans la rade, s'était avancé de 150 mètres *en un an*, de 1832 à 1833, et il avait exprimé la crainte que ce fait ne fût le résultat de l'exécution de la digue. Le ministre demanda des profils et

des sondages nouveaux, et invita à examiner si l'on pourrait commencer immédiatement la branche de l'Ouest sans prolonger quant à présent celle de l'Est, en se bornant à achever les parties commencées. Il demanda aussi si l'on pourrait exécuter les deux musoirs extrêmes, dès que leurs branches respectives auraient atteint le tiers ou le quart de leur longueur.

M. Duparc répondit que l'accroissement signalé du banc de sable de l'île Pelée paraissait invraisemblable. En comparant le sondage de 1832 avec celui de 1789, qui méritait toute confiance (ayant été fait par deux Commissions distinctes qui avaient trouvé des résultats semblables), on remarquait que la ligne des fonds de 30 pieds en dessous du zéro des marées n'avait pas sensiblement changé dans l'espace de quarante-trois ans; et que le peu de modifications qu'on y trouvait semblait plutôt indiquer une diminution qu'un accroissement. D'ailleurs, le travail fait à la digue à la fin de 1832 était à peine en relief au-dessus de l'enrochement et sur un emplacement qui était précédemment recouvert en partie par des blocs qu'il avait fallu enlever avant de fonder la muraille.

Toutefois, comme on ne pouvait rien objecter de mieux que des faits, on fit un sondage dont les résultats se trouvèrent conformes aux prévisions du directeur. En répétant ces sondages chaque année, on ne trouva par la suite que des différences peu importantes, tantôt en plus, tantôt en moins, et toujours dans les limites d'erreurs que ce genre d'opérations comporte. La seule conclusion générale qu'on pût en tirer fut qu'il s'était produit un approfondissement de $0^m,60$ environ sur la crête du banc de l'île Pelée, qui était plus particulièrement l'objet des recherches.

Il n'était pas possible de commencer immédiatement la branche de l'Ouest. Les enrochements de cette branche, avant qu'on eût entrepris de les recharger, étaient à 2 ou 3 mètres en contre-bas des plus basses mers de vives-eaux d'équinoxe. Les versements effectués de 1830 à 1832 avaient bien élevé cette crête jusqu'au niveau des basses mers sur un

grand nombre de points; mais la masse des matériaux s'était tassée, arrimée, et avait éprouvé un affaissement très-prononcé.

Exhaussement des enrochements sous-marins de la branche Ouest de la digue, à partir du fort central et jusqu'au niveau des basses mers de vives eaux.

On entreprit le rechargement définitif d'une première partie de cette branche sur 300 mètres de longueur, à partir de la batterie centrale, pour en exécuter les fondations l'année suivante. Le ministre, qui était venu à Cherbourg, avait décidé qu'on en commencerait les maçonneries le plus tôt possible, parce que cette portion de la digue était considérée comme plus urgente qu'aucune autre pour procurer du calme dans la rade. Mais, en fait, il n'y eut rien de changé dans la marche des travaux, et l'on continua la branche Est jusqu'à ce qu'elle fût fondée dans toute sa longueur.

Travaux de 1835. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 3, fig. 1 et 2. Planche, 9, fig 1, 2, 3, 4.

Les travaux exécutés en 1835 consistèrent dans l'exhaussement, jusqu'au-dessus des plus hautes mers, de toute la portion de muraille déjà commencée, et dans la fondation d'une nouvelle tranche de 187 mètres de longueur. Mais ces fondations étaient incomplétement faites. Elles n'étaient recouvertes de deux assises que sur une longueur de 42 mètres, d'une seule sur 64 mètres, et la première couche inférieure n'était elle-même achevée que sur 128 mètres, à la suite desquels il n'y avait plus que des blocs artificiels échoués et garnis de béton dans leurs intervalles et derrière lesquels l'aire en béton de la zone Sud n'était pas faite.

Cette situation n'était pas favorable pour lutter contre la mer.

Les blocs d'enrochement du Nord, roulés par les vagues, devaient arriver facilement sur ces fondations inachevées et y causer des dégâts. C'est ce qui eut lieu pendant un coup de vent du mois de décembre 1835. Les blocs, ne rencontrant pas un obstacle suffisant pour les arrêter, vinrent rouler sur le béton, et occasionnèrent des affouillements considérables, augmentés par l'effet des tourbillons qui se formaient autour d'eux. Un certain nombre de ces blocs furent jetés sur la risberme Sud. Il se manifesta aussi des lézardes sur quelques points de la fondation où la première assise n'était pas placée.

Les travaux *accessoires* exécutés dans le cours de cette campagne consistèrent dans la construction de nouveaux magasins à la digue pour abriter la chaux et la pouzzolane artificielle; dans l'agrandissement des logements d'ouvriers au fort central; dans la confection de barques à voiles, qui furent exécutées par la direction des constructions navales pour le transport des blocs de défense, et de quatre chalands pour le transport du mortier et du béton; dans l'amélioration du petit port provisoire situé à l'Est du fort central, dont on allongea la jetée pour y réfugier au besoin les embarcations et les chalands en mauvais temps par les vents de terre. Planche 2, fig. 1 et 2.

Tassements observés dans les enrochements sous-marins et les maçonneries en exécution pour la muraille de la branche Est de la digue.

Des tassements considérables continuèrent à se manifester dans les maçonneries. Sur la deuxième partie de la muraille, le point situé à 100 mètres vers l'Est avait tassé de $1^m,19$ du côté du Sud. Sur la troisième partie, au contraire, un point, situé à 100 mètres, vers l'Est, n'avait tassé que de $0^m,05$. Aussi, ce point fut marqué par une lézarde qui s'était produite au travers de la muraille, et dont la plus grande largeur en haut s'était élevée à $0^m,02$. Des lézardes semblables se manifestèrent par la suite sur quelques autres points qui, comme celui-ci, avaient éprouvé des tassements notablement moindres que les portions de muraille attenantes. On remarqua que l'hiver était la saison pendant laquelle les tassements se produisaient le plus rapidement, sans doute à raison des ébranlements occasionnés par les tempêtes.

Ces faits engagèrent à reculer de plusieurs années l'exécution de la tranche supérieure et du parapet de couronnement qu'on avait eu le projet d'entreprendre en 1836 sur la première partie de la muraille.

Travaux au commencement de 1836.

Pendant les premiers mois de l'annеé 1836, on s'occupa de réparer le chemin de communication provisoire, à l'Est de la batterie centrale, qui avait éprouvé des avaries considérables; mais on eut soin de construire en maçonnerie les parties exposées à l'action des vagues, du côté du large.

Ce mode eut un plein succès: seulement on commit encore la faute

d'établir le plan de fondation de ces maçonneries provisoires au niveau des hautes mers de mortes-eaux; et il en résulta plus tard l'obligation de faire des *rechaussements* également en maçonnerie, à mesure que l'enrochement sur lequel ce mur était bâti s'affaissait par l'effet de la mer sur le talus.

Toutefois avec des dépenses d'entretien beaucoup moins importantes qu'elles ne l'eussent été pour des ouvrages en pierres sèches, on parvint à prolonger l'existence de cet ouvrage aussi longtemps qu'il en fut besoin; et ce n'est que dans les dernières années des travaux, et après que le raccordement définitif de la batterie centrale avec la branche Est a été exécuté, que ces constructions provisoires, abandonnées sans soin à elles-mêmes, comme inutiles, furent détruites en peu de temps par la mer. On voit encore sur les talus du large les gros fragments de maçonnerie qui proviennent de cette démolition.

Travaux pendant le courant de 1836. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 3, fig. 1 et 2. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

On éleva aussi sur le fort central de nouvelles casernes provisoires pour porter à 500 le nombre des ouvriers logés à la digue. Pour dépenser des fonds qui devaient être plus considérables que dans les exercices précédents, il était indispensable d'augmenter le personnel qui avait été toujours insuffisant jusqu'alors pour les travaux des basses mers de vives-eaux.

En mars, on s'occupa de relever au moyen des bateaux une partie des blocs naturels que la mer avait déplacés et qui couvraient les fondations entreprises dans la campagne précédente. On répara aussi les affouillements du béton autour de ces blocs, et l'on restaura complétement les fondations commencées dans la campagne précédente sur 187 mètres de longueur. Sur cette base prolongée de 65 mètres dans l'Est, on éleva une tranche de muraille jusqu'à la hauteur de la huitième assise sur 200 mètres de longueur, et jusqu'à la hauteur de la quatrième sur les 52 mètres restants.

On entreprit en outre des fondations sur une longueur de 100 mètres

en prolongement, mais elles ne furent élevées que jusqu'au-dessous de la première assise.

On exhaussa aussi d'environ 1 mètre la portion de muraille élevée en 1835, de manière à la mettre à la même hauteur que les parties faites précédemment.

On adopta cette année des hauteurs d'assises en pierres de taille plus fortes que par le passé, et on y trouva avantage sous le double rapport de la stabilité et de la vitesse d'exécution. Dans des travaux intermittents comme ceux de marée, la pose des assises de grandes hauteurs et leur arasement en maçonnerie de remplissage n'exigent pas à proportion autant de temps que celles d'un faible échantillon.

L'année 1836 fut marquée par des incidents très-fâcheux.

Une des grandes chaudières du *Rameur* fit explosion en rade, ce qui coûta la vie au mécanicien et à deux chauffeurs. Pendant la réparation de ce bateau, il ne resta pour remorquer les chalands que *le Rapide*, qui avait été prêté par la marine pour le service des travaux et dont les machines en mauvaise état exposaient à de fréquents chômages. *Le Requin*, dont la force n'était que de trente-deux chevaux, avait été rendu l'année précédente et classé comme bâtiment de servitude de la flotte.

Accidents et avaries éprouvés en 1836, dans les travaux de la digue.

Il fallut alors employer un procédé coûteux pour l'approvisionnement du mortier et du béton nécessaires aux travaux de la digue. On mouilla des ancres de distance en distance, entre le port militaire et le fort central, et on fit marcher les chalands à la touée sur cette ligne. Ce mode de transport était impraticable dès que la mer se trouvait un peu agitée.

Dans ces circonstances, il fallut fabriquer du mortier sur le fort central et le transporter aux lieux d'emploi ; mais les ouvriers employés à ces préparations et transports ne pouvaient contribuer à l'exécution des maçonneries, ce qui était une cause de retard très-fâcheux.

Quelquefois, quand le vent était favorable, des canots à la voile faisaient l'office de remorqueurs à l'aller ou au retour des chalands.

Dans un coup de vent de Sud du mois d'octobre, une embarcation qui portait à terre un certain nombre d'ouvriers fit naufrage à peu de distance de la digue, et douze d'entre eux se noyèrent.

Dans ce même coup de vent, des chalands chargés, qui étaient échoués sur la risberme Sud vers la rade pour le service des ouvrages de maçonnerie, furent jetés par les vagues contre le parement en granit de la muraille et en déplacèrent des assises entières posées depuis longtemps.

Il existait bien des poteaux de garde en bois, placés de distance en distance devant le parement Sud, pour le protéger contre les abordages de ce genre, mais ils furent brisés par les chalands et ne purent préserver la muraille; aussi on ne les rétablit pas, et on renonça à en placer d'autres dans la suite. Deux des chalands, poussés par le vent, franchirent la partie la moins élevée des maçonneries et disparurent au large.

Deux bateaux à pierres appartenant à des particuliers sombrèrent près de la digue.

Un hangar amovible, que l'on plaçait sur la muraille pour offrir un abri à proximité des lieux des travaux, fut emporté à deux reprises par la mer.

Pendant les coups de vent du *large* de cette année, on vit pour la première fois les lames lancées contre le parement Nord de la muraille s'élever à ***plus de* 30 *et* 40 *mètres de hauteur*.**

Un autre fait non moins remarquable fut le déplacement d'un certain nombre de caisses de béton coulées à l'Est des fondations nouvelles. Les huit dernières furent poussées dans le Sud, à des distances variables jusqu'à 20 mètres pour quelque-unes. Deux d'entre elles furent retournées sens dessus dessous.

Effets de la tempête solsticiale du 25 déc. 1836 du N. N.-Est.

Le 25 décembre 1836, une tempête du Nord Nord-Est, dont la violence surpassa tout ce qu'on avait encore vu depuis la reprise des travaux, produisit des désastres extraordinaires.

La première partie de la muraille résista bien. Quelques blocs seu-

lement des enrochements du Nord furent lancés par-dessus l'assise supérieure et tombèrent sur la risberme Sud.

La deuxième partie, élevée en 1834, fut celle qui eut le plus à souffrir. Le parement Nord, avec une partie de la maçonnerie adjacente, se détacha du reste de la masse suivant une lézarde *longitudinale* de près de 80 mètres de longueur. Plusieurs pans de ce parement s'écroulèrent sur la hauteur de cinq ou six assises. Des blocs de défense de l'enrochement du Nord passèrent au Sud par-dessus cette deuxième partie, mais en petit nombre,

La portion de muraille élevée en 1835 fut entamée par une brèche de 20 mètres de longueur dans le parement Nord. Cette brèche était située vers l'extrémité Est de cette troisième partie, près du point de rattachement avec la portion de muraille élevée en 1836 où il s'était déclaré depuis quelque temps, par l'effet de la surcharge des nouvelles constructions, une lézarde qui pouvait avoir contribué aux dégâts sur ce point.

La tranche de muraille élevée en 1836 fut coupée aussi par une brèche de 15 mètres de largeur moyenne traversant *toute l'épaisseur du mur* sur six assises de hauteur. On s'était aperçu que ce point correspondait à un ancien cône, et qu'il s'y était formé préalablement, par suite de tassements inégaux, quelques lézardes transversales qui avaient détruit la cohésion des mortiers et qui étaient la cause probable de cette dernière brèche.

Le bout non exhaussé à l'extrémité Est de cette quatrième partie fut également endommagé.

Plus de *deux cents blocs* naturels de défense passèrent par-dessus ces dernières portions du mur, à plus *de 6 mètres de hauteur* au-dessus de la crête des enrochements, et furent jetés sur la risberme Sud. Dans le nombre il y en avait qui pesaient plus de 3,000 kilogrammes.

Enfin les fondations nouvelles de l'année, déjà attaquées par les tempêtes précédentes, eurent considérablement à souffrir. Presque toutes

les caisses de béton de la risberme, vers le large, furent déplacées, chavirées ou même retournées. Les blocs naturels de défense, qui formaient le cordon du Nord, furent poussés dans le Sud, pêle-mêle avec les caisses en partie brisées.

La grande quantité de blocs de défense qui avait passé par-dessus la muraille donnait lieu de croire d'abord que le choc de ces masses lancées par les vagues contre la maçonnerie était la cause principale des avaries. Mais en examinant de plus près les faits, on reconnut que les plus grands dégâts avaient eu lieu sur des points où, par l'effet du hasard, peu de blocs comparativement avaient été jetés au Nord et au Sud.

La rupture longitudinale qui s'était produite dans la deuxième partie de la muraille, et qui était véritablement inquiétante pour l'avenir des constructions, n'avait pas d'autres causes que la grandeur et surtout l'inégalité des tassements.

D'après le nivellement fait l'année précédente, on avait trouvé sur ce point un tassement total de plus de *un mètre* du côté du Sud, avec une différence de $0^{m},40$ entre ce côté et celui du Nord dans la même section transversale. On avait constaté aussi une inégalité de $0^{m},60$ entre le milieu et les extrémités de la longueur de cette portion du mur.

En consultant les sondes faites en 1831, on reconnut que les enrochements anciens ne formaient pas à eux seuls toute la largeur sur laquelle reposait la muraille, et que les fondations, établies du côté Nord seulement sur une vieille base, portaient du côté du Sud sur des enrochements récents, qui n'avaient pas éprouvé comme les premiers l'effet de la mer pendant de longues années, et qui étaient par conséquent beaucoup plus compressibles.

Les dégâts devaient donc être attribués à des circonstances exceptionnelles, qui étaient indépendantes de la résistance des maçonneries et de la stabilité de la muraille, et qui ne devaient pas se reproduire dans le prolongement de la branche.

On constata heureusement que les parties de la muraille qui n'avaient pas été entamées avaient conservé leurs parements intacts et exempts de fendillements. On n'y remarquait que l'empreinte des blocs lancés par la mer, quelques écornures aux angles des pierres de taille, et la disparition complète des herbes marines qui tapissaient le parement Nord jusqu'au niveau des hautes mers de morte-eau.

Après cette tempête, on ne retrouva presque nulle part de vestiges de la risberme extérieure, vers le large, en mortier. La plupart des caisses de béton qui la protégeaient ne présentaient plus que des débris. Les blocs naturels de défense avaient pris la place de cette risberme et s'étaient amoncelés au pied du mur, surtout en avant des troisième et quatrième partie de la muraille où il avait été fait, pendant l'été précédent, des versements que la mer n'avait pas encore dressés.

Bien des avaries ont eu lieu sans doute dans le cours ultérieur des travaux, mais jamais elles n'ont atteint les proportions de celles de 1836. Si le coup de vent qui a produit ces dernières et les circonstances particulières qui leur ont donné tant de gravité n'eussent pas été des faits exceptionnels, il aurait fallu renoncer au mode adopté pour l'achèvement de la digue.

Approvisionnement en 1836 de chaux hydraulique artificielle et pouzzolane artificielle.

On fit usage, pendant la campagne de 1836, des chaux et pouzzolane artificielles de Paris. Le marché qui avait été passé avec M. Rousseau, pour une quantité de 500 mètres cubes de chaux et de 200 mètres cubes de pouzzolane seulement, fut prorogé pour la fourniture de ces matières pendant trois ans et neuf mois, à la condition que ce fabricant établirait près de Cherbourg une usine où elles recevraient au moins la dernière préparation, pour n'avoir pas à craindre des détériorations ou des retards dans les envois de Paris. La marine remit à cet effet au fournisseur un établissement qu'elle possédait au Becquet, et qui avait été affecté autrefois à l'exploitation des carrières dans cette localité.

Des matières analogues, proposées par M. Lacordaire, furent essayées

comparativement avec celles de M. Rousseau, auxquelles l'avantage resta.

On se borna à renouveler avec M. Lacordaire des marchés de gré à gré passés avec lui pour la fourniture du ciment de Pouilly. Ce ciment était le seul employé à la digue, depuis le commencement des travaux de maçonnerie en 1832, et on en faisait usage seulement pour les rejointoiements de parements.

Matériel flottant en 1836.

En 1836, la marine mit à la disposition de la direction des travaux hydrauliques le petit bateau à vapeur *l'Actif*, de la force de cinquante chevaux, en remplacement du *Rameur*, qui avait à recevoir de longues réparations. *L'Actif* est resté au service des travaux de la rade jusqu'à leur achèvement et a toujours rendu d'excellents services.

Le nombre des chalands fut porté cette année à vingt et un, dont deux se perdirent. On se proposait de l'augmenter encore jusqu'à ce que l'on en eût assez pour qu'une partie pût prendre charge au port militaire, en même temps que l'autre partie serait en déchargement à la digue.

Commencement, dans le nouvel arsenal, des travaux de creusement de l'arrière-bassin, et emploi aux enrochements sous-marins de la digue, des produits des exploitations des roches de gneiss.

C'est en 1836 que fut commencé le creusement de l'arrière-bassin pour fournir des matériaux d'enrochement pour la branche Ouest de la digue. Mais il ne sortit des carrières, pendant la première année, que de l'argile et des écalins impropres aux travaux de la rade. Le directeur avait demandé que cette exploitation fût entreprise dès 1833, aussitôt après que les approvisionnements de moellons qu'on avait trouvés sur les quais du bassin de flot furent épuisés. Il est certain qu'il était fâcheux d'être dans la nécessité d'aller chercher ailleurs des moellons pour l'achèvement de la digue, lorsqu'il y avait tant d'avantages à les extraire dans l'emplacement de l'arrière-bassin.

Mais la proposition faite à ce sujet n'ayant pas été accueillie en temps opportun, il fallut recourir aux carrières du Becquet, où l'on prit presque toute la quantité de moellons qui fut exployée à l'exécution des maçonneries.

La réparation des avaries considérables que la digue avait éprouvées

fut commencée dès les premiers mois de l'année 1837 et exigea beaucoup de temps et de peines. Pour réparer la partie qui s'était détachée du côté Nord sur plus de 80 mètres de longueur, il fallut enlever la masse considérable de maçonnerie qui restait en avant et au Sud de la lézarde dans toute cette étendue jusqu'au niveau des fondations, et faire usage dans la reconstruction de mortiers énergiques que l'on composa en *ajoutant sur place du ciment de Pouilly dans les mortiers ordinaires.*

Les réparations eurent un plein succès et les tassements ultérieurs ne déterminèrent pas la formation de lézardes nouvelles sur les mêmes points. On en tira cette conséquence rassurante pour l'avenir que les ruptures qui s'opèrent dans les maçonneries, peu de temps après leur construction, ne proviennent pas de l'effet direct de la mer, mais de l'inégalité de résistance du fond sur lequel elles sont assises, et que la base en s'affaissant finit par s'affermir sous le poids qu'elle supporte, jusqu'au point de faire disparaître tous les mouvements inégaux qui fatiguent les maçonneries nouvelles.

Les 100 mètres de longueur de fondation qui étaient préparés à la fin de 1836 avaient tellement souffert pendant l'hiver, qu'il y eut à exécuter des réparations à peu près équivalentes à une reconstruction complète avant d'en commencer l'exhaussement.

Ces travaux de réparation furent fréquemment contrariés par le mauvais temps. Mais la saison étant devenue très-favorable à partir du mois de juin, on fut assez heureux pour établir 302 mètres de fondation nouvelle pendant le reste de la campagne.

Sur ces 302 mètres on en éleva 131 jusqu'au niveau des hautes mers, 45 à des hauteurs variables de la cinquième à la deuxième assise, et le reste jusqu'au-dessus de la première assise, sauf les 35 derniers mètres où il n'existait que la couche de fondation.

A la fin de cette année la branche Est se trouvait ainsi parvenue à un niveau supérieur à celui des hautes mers d'équinoxe, sur une lon- Situation à la fin de 1837. Planche 3, fig. 1 et 2. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

gueur de 660 mètres, au niveau des hautes mers de morte-eau sur 137 mètres à la suite, et au niveau moyen de la première assise, sur une longueur de 163 mètres en prolongement.

Il ne restait plus à fonder que 277 mètres pour arriver à l'origine du raccordement de la muraille avec le fort projeté du musoir Est.

Ce qui a le plus contribué avec le beau temps aux progrès remarquables des fondations dans le cours de cette campagne, c'est le rétrécissement de la risberme en béton établie en avant de la muraille du côté du large.

L'expérience avait prononcé depuis longtemps contre la grande largeur qui avait été attribuée à cette risberme, avec une épaisseur trop faible pour résister à l'action du siphonnement des lames de bas en haut.

Suppression de la risberme en béton vers le large, Planche 3, fig. 1 et 2.

Il était facile aussi de voir que la dureté des bétons et des maçonneries employés à la confection des blocs artificiels de cette risberme et au remplissage intermédiaire de ces blocs n'était pas suffisante pour résister longtemps à l'action destructive des blocs de défense jetés, roulés et agités en tous sens à la surface par les vagues pendant les coups de vent du large; et cette cause de destruction était au moins aussi pernicieuse que le siphonnement de la mer. Aucun doute ne pouvait rester à cet égard après la tempête de décembre 1836, dans laquelle la risberme en mortier avait disparu.

Heureusement cette même tempête avait aussi démontré, comme on l'a dit, l'efficacité des blocs naturels de défense pour garantir le pied de la muraille contre les affouillements, c'est-à-dire, pour remplir le rôle auquel la risberme en mortier était destinée.

Ces blocs s'étaient rapprochés du pied du mur contre lequel leur crête se trouvait désormais appuyée, et la mer les avait dressés suivant une pente régulièrement inclinée vers le large. Ils étaient arrimés et serrés les uns contre les autres avec tant de perfection, que l'on pouvait affirmer qu'ils présentaient dans leur ensemble une stabilité de forme et

une résistance infiniment supérieure à celle de la risberme primitive, et qu'ils garantiraient la muraille contre tout danger d'affouillement. D'après cela toute la largeur inutile de cette risberme fut retranchée.

On réduisit les ouvrages d'art en avant du mur à une simple file de caisses jointives remplies de béton, rapprochées aussi près que possible du parement Nord. Cette ligne de caisses devait être conservée 1° pour former la rive Nord de l'enceinte à bétonner au-dessous de la muraille, et pour soutenir le béton jusqu'à son durcissement; 2° pour opposer une barrière aux blocs de défense que la mer aurait poussés trop facilement dans l'emplacement des fondations, sans l'obstacle que ces caisses présentaient; 3° pour prévenir les dégradations et les affouillements au pied du mur, en attendant qu'on pût y verser des blocs de défense, dont la mise en place n'était facilement praticable et exempte de tout inconvénient qu'après que toutes les maçonneries en relief étaient parvenues à peu près au niveau des hautes mers.

Nouvelle disposition pour la défense des fondations vers le large sur la rive Nord de la muraille. Planche 3, fig. 1, 2, 3, 4.

Les caisses dont il s'agit étaient vides lorsqu'on les mettait en place pendant les basses mers des fortes vives-eaux, ce qui permettait de régulariser leur alignement et leur position avec tout le soin désirable. Le bord intérieur formait une ligne parallèle au pied du mur, à 0m,50 de distance en dehors du parement de la première assise. Elles étaient disposées successivement en carreaux et boutisses, de manière que la rive extérieure présentait des retraites et des saillies qui formaient un obstacle au cheminement éventuel des blocs de défense.

Ces caisses étaient remplies sur place avec du béton aussitôt après leur pose et recouvertes immédiatement d'un bordage en sapin.

Ces dispositions avantageuses ont été conservées jusqu'à l'achèvement de la digue. On les modifia seulement pour introduire deux perfectionnements de détail, en substituant au bordage de recouvrement en sapin une maçonnerie d'environ 6 à 8 centimètres d'épaisseur, faite avec des moellons plats et du mortier de *ciment romain*, et en

remplaçant plus tard les fonds en bois par des fonds en toile qui augmentèrent l'adhérence sur le fond et la résistance que les caisses opposaient lorsque les vagues tendaient à les pousser vers le Sud, dans l'emplacement de la muraille, avant que le bétonnage de la couche de fondation ne fût exécuté.

Une fois que les caisses étaient posées et remplies, on versait aussitôt que possible, au Nord de ces caisses, des blocs de défense pour les protéger contre l'action des lames.

Pendant les années suivantes on reconnut qu'il était préférable d'opérer les premiers versements de blocs *avant* la pose des caisses, en se tenant un peu au Nord toutefois pour ne pas en gêner le placement. De cette manière, la ligne de blocs de défense, en relief sur l'enrochement de pierrailles, servait de brise-lames contre la houle venant du large pendant la pose et le remplissage des caisses, et facilitait beaucoup les opérations.

La crête de cette ligne de blocs, composée d'une série de tas contigus dont la hauteur moyenne était environ de 2^{m},50 au-dessus du zéro, et dont les points culminants s'élevaient environ à 1 mètre plus haut, constituait une excellente ligne de défense contre la mer, non-seulement pour l'exécution de la première couche de fondation, mais aussi pour la pose et l'arasement de la tablette-socle et des première et deuxième assises.

Tassements constatés en 1857

Deux nivellements furent faits en 1857 sur la portion de muraille exécutée. Le premier, à la date du 2 janvier, quinze jours seulement après celui de l'année précédente, avait pour objet la constatation des effets produits par la grande tempête du 23 au 25 décembre. On reconnut que le tassement s'était élevé dans ces quinze jours à 0^{m},02 au moins sur les parties les plus fermes et les plus anciennes du travail, et à 0^{m},10 au maximum. On avait déjà remarqué précédemment que l'hiver était la saison pendant laquelle les affaissements étaient le plus prononcés, sans doute à la faveur des ébranlements produits

par les coups de mer contre le parement Nord de la muraille.

Le second nivellement n'apprit rien de particulier, si ce n'est que les tassements continuaient toujours à se produire, ***même sur les premières parties de la muraille,*** contrairement aux prévisions des ingénieurs sur ce sujet.

On construisit cette année une série de petites cabanes, sur les terre-pleins provisoires à l'Est du fort central pour servir à emmagasiner les outils des ateliers. Cette disposition permit de placer tous les outils portatifs sous la responsabilité des ateliers eux-mêmes et sous la surveillance de leurs chefs, mesure qui était indispensable au point de vue de l'ordre et de l'économie dans des travaux en régie aussi considérables que ceux de la digue, et qui donna d'excellents résultats.

Travaux de 1838.

L'année 1838 fut très-favorable à l'avancement des ouvrages, et se passa sans avaries considérables. La situation des travaux de maçonnerie était comme suit, à la fin de cette année :

Situation à la fin de cette même année. Planche 3, fig 3 et 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

Les 835 premiers mètres étaient élevés au-dessus du niveau des plus hautes mers d'équinoxe;

Les 222 mètres suivants étaient parvenus à 1 mètre en contre-bas de ce niveau;

Les 180 derniers mètres, aboutissant à l'origine du raccordement avec le fort projeté sur le musoir Est, étaient fondés et élevés moitié jusqu'au-dessus de la deuxième assise, et moitié jusqu'au-dessus de la première.

Ainsi les 277 mètres de fondation qui restaient à exécuter au commencement de cette année se trouvaient faits. La muraille était même élevée presque sur les 100 premiers mètres de ces fondations nouvelles.

Bien qu'on fût arrivé enfin à l'origine des ouvrages du musoir Est, et malgré le désir qui avait été exprimé en 1835, par le Ministre de la marine, de commencer ces ouvrages le plus tôt possible, on ne put les entreprendre dans la campagne suivante, parce que les enrochements

sous-marins ne présentaient pas une base assez large pour les recevoir, et que les projets des forts n'étaient pas encore arrêtés.

Remplacement en août 1838 de M. Fouques-Duparc, décédé en mars 1838, par M. Reibell, dans la direction des travaux du port et de la rade.

Vers le milieu de l'année 1838, M. Fouques-Duparc, décédé en mars 1838, fut remplacé par M. Reibell dans la direction des travaux du port et de la rade.

Peu après, M. Virla, qui avait coopéré avec M. Duparc à la rédaction du projet d'achèvement de la digue, qui avait projeté et fait exécuter le chemin de fer du Roule, et qui avait été chargé des travaux de la digue depuis leur reprise et de toutes les recherches et étudesqui en dépendaient, quitta aussi le service de la marine, et fut remplacé par M. l'ingénieur Mahyer, domicilié sur la digue.

Aussitôt après son entrée en fonctions, le nouveau directeur porta son attention sur tous les détails du service.

Nouvelles dispositions dans les détails d'organisation des travaux de la digue.

Une des premières mesures qu'il proposa fut l'organisation à la digue d'un service médical, qui était indispensable en raison de la nature des travaux, de l'isolement du chantier, de l'interruption éventuelle des communications avec Cherbourg, en cas de mauvais temps, et de l'importance numérique du personnel qui s'élevait à cinq ou six cents hommes en été, et qui était encore d'une centaine en hiver.

Les dispositions adoptées pour l'ordre des relais des ouvriers furent aussi modifiées.

Comme le personnel détaché à la digue devait venir périodiquement à terre, on avait pris pour règle jusqu'alors d'envoyer au relais chaque jour une fraction des ouvriers et des agents à tour de rôle, que l'on transportait à terre dans des embarcations. Ce mode avait l'inconvénient de désorganiser partiellement et chaque jour la composition des ateliers, et de faire perdre beaucoup de temps. Il n'était pas non plus exempt de danger, et c'est même dans une traversée de relais journaliers que douze hommes avaient péri en 1836.

On prit le parti, en 1838, d'envoyer à terre tous les ouvriers à la fois par le bateau à vapeur de service. Les relais se firent désormais le di-

manche; il y en eut de deux espèces: ceux en morte-eau dans lesquels les ouvriers étaient débarqués le samedi soir et ramenés à la digue le lundi matin, et ceux en vive-eau pendant lesquels les ouvriers n'étaient mis à terre que pour quelques heures seulement et à marée haute, de manière à les conserver à la digue pendant toutes les basses mers. Ce mode est resté en vigueur jusqu'à l'achèvement des ouvrages.

L'organisation du personnel embarqué sur les bateaux à vapeur remorqueurs de la digue fut modifié dans un but d'économie.

Modifications dans le service de remorquage par bâtiments à vapeur.

Trois bâtiments étaient alors attachés aux travaux, indépendamment des remorquages qu'ils avaient à faire accidentellement pour le service de la flotte ou pour le commerce.

Le premier, *le Rameur*, de la force de soixante chevaux, était en réparation et ne rendait presque plus de services depuis l'explosion d'une de ses grandes chaudières. Il appartenait entièrement à la direction des travaux hydrauliques.

Le deuxième, *le Rapide*, de la force de quatre-vingts chevaux, était en réparation depuis plus d'un an et appartenait au service général de la marine, sauf l'appareil moteur, qui avait été payé sur le budget des travaux de la digue.

Le troisième, *l'Actif*, prêté pour remplacer temporairement *le Rameur* et *le Rapide*, appartenait en entier au service général de la marine.

Ces trois bâtiments avaient chacun un capitaine ou maître et un mécanicien entretenus, avec un équipage complet de matelots et de chauffeurs, qui étaient payés sur les fonds des travaux.

De ces trois navires, un seul, *l'Actif*, faisait alors tout le service presque sans discontinuité. La digue supportait donc en pure perte les dépenses de solde des équipages des deux autres, et, sur la somme de 2,780 francs qu'elle payait en salaires mensuels, elle n'obtenait en travail productif que l'équivalent du tiers de cette somme.

Comme, dans le principe, deux remorqueurs avaient été jugés suffi-

sants pour le service de la rade, l'un en fonctionnement habituel, l'autre en réserve pour les cas de réparation, le directeur proposa d'en remettre un des trois au service de la marine, en conservant toutefois *l'Actif*, qui satisfaisait mieux que les autres aux besoins des travaux; ou bien de garder les trois remorqueurs, en donnant d'autres destinations aux capitaines et aux mécaniciens, et en licenciant les équipages de deux d'entre eux; ou encore, si l'on voulait conserver le personnel des deux ou trois remorqueurs qui resteraient au service de la digue, de l'employer alors à d'autres travaux, et particulièrement à l'armement des chalands à mortier. Cette dernière combinaison fut adoptée.

Le personnel entretenu de ces bâtiments se trouva bientôt réduit à deux capitaines et trois mécaniciens, et il n'y eut plus qu'un équipage en service pour les trois bateaux.

L'un des capitaines avait deux remorqueurs sous ses ordres, dont l'un, *le Rameur*, ne faisait presque jamais de service et ne pouvait être considéré que comme une ressource exceptionnelle pour les cas d'avaries ou d'empêchement des deux autres.

Les deux bâtiments qui étaient en bon état fonctionnaient à tour de rôle chacun pendant quinze jours ou un mois.

Quant aux équipages, ils furent incorporés avec le reste du personnel des ouvriers marins de la Direction qui étaient affectés aux transports des mortiers et bétons par chalands. Ils étaient ainsi toujours employés utilement, soit sur les bateaux à vapeur, soit sur les chalands, soit même dans les chantiers de l'arsenal, au cassage du cailloutis pour béton ou à d'autres ouvrages pendant les temps d'arrêt ou de ralentissement des travaux de la digue. On conservait de cette manière la possibilité de fournir à l'armement simultané de deux bateaux à vapeur lorsque des besoins quelconques rendaient cette mesure nécessaire.

Nouvelles dispositions pour le personnel employé à la surveillance des travaux.

A la même époque, le directeur réclama, en faveur des agents entretenus, employés sur la digue, une indemnité pécuniaire, motivée par le surcroît de fatigue que leur imposaient les travaux de nuit. Ces

travaux étaient pratiqués depuis le commencement de l'exécution des maçonneries de la branche Est, toutes les fois que le temps était favorable, dans le but d'activer l'avancement des portions de la muraille situées en contre-bas du plan moyen des marées. Ils étaient indispensables pour imprimer à la construction de la couche de fondation et même à celle des premières assises toute l'impulsion nécessaire pour permettre d'occuper les ouvriers toujours utilement pendant les hautes mers de vives-eaux et pendant la durée des mortes-eaux où les basses assises ne découvraient pas. Ce but était difficile à atteindre, même avec les renforts d'ouvriers qu'on détachait des travaux d'exploitation de l'arrière-bassin et qu'on envoyait à la digue temporairement pendant la durée des vives-eaux dans la belle saison.

Il était donc de la plus haute importance de ne mépriser aucun moyen propre à faire avancer l'exécution des ouvrages situés au niveau des marées basses, et le meilleur de tous était une juste rémunération.

Pour les ouvriers et les agents employés à la journée, il n'y avait pas de difficulté. On leur allouait une demi-journée de solde pour chaque marée de nuit, limitée par l'accomplissement d'une tâche d'ouvrage donnée à un certain nombre d'hommes ou par une durée de trois heures de travail effectif.

Mais les agents entretenus, qui participaient aux marées de nuit aussi longtemps que les ouvriers, supportaient la fatigue de ces travaux supplémentaires sans aucune compensation. L'allocation d'une indemnité fixée à un dixième de leur solde, dont ils jouissaient comme tous les ouvriers de la digue, était insuffisante pour compenser l'excédant de dépenses auquel donnait lieu leur isolement.

Le directeur proposa de leur accorder en outre, comme aux ouvriers, une prime proportionnelle à leur traitement et au nombre de marées de nuit auxquelles ils assisteraient, et qui était environ de dix-huit par mois pour chaque individu. Ce principe excellent

ne fut pas accueilli, mais on accorda aux agents entretenus une augmentation équivalente en supplément fixé à titre d'***indemnité de résidence***.

Le directeur comprit aussi les avantages qui résulteraient dans un service aussi important que celui de la digue de la présence permanente d'un ingénieur sur les chantiers. Le mode d'exécution des travaux par voie de régie directe au compte de l'Etat; l'emploi des ouvriers à la journée; l'importance des dépenses annuelles comprises entre un et deux millions de francs; la nécessité de prévenir les désordres qui auraient pu s'établir dans un chantier isolé, composé de six à sept cents hommes, conduit par des agents subalternes qui n'auraient pas toujours pu exercer convenablement leur autorité les uns sur les autres et sur les ouvriers, dans l'ordre hiérarchique; le règlement des difficultés qui s'élevaient entre les ouvriers et le cantinier au sujet des comptes individuels des dépenses faites à crédit sous la tutelle de la direction et sous sa garantie; la surveillance à exercer sur les approvisionnements de comestibles, sous le rapport de la qualité et de la quantité; et beaucoup d'autres considérations importantes firent que le directeur, d'accord avec M. l'ingénieur Mahyer, décida que celui-ci établirait sa résidence sur la digue et y séjournerait pendant toute la durée de chaque campagne.

Cette mesure a eu une influence heureuse sur l'avancement des ouvrages, en stimulant le zèle des agents et des ouvriers.

Une amélioration considérable au point de vue technique, dans l'exécution des ouvrages, fut l'extension donnée à l'emploi du ***ciment romain*** ou de Pouilly. Auparavant on n'en avait fait usage que pour les rejointoiements, et, comme on l'a vu, pour la réparation de la grande avarie de 1836 exceptionnellement. On ne s'en servait pas pour poser et garnir les pierres de taille. L'élévation du prix du ciment de Pouilly, quoique descendu de 18 à 14 francs les 100 kilogrammes, en avait toujours restreint la consommation.

Emploi, sur une grande échelle, des ciments hydrauliques de Pouilly, ciment romain ou de Parker, etc., etc.

Cependant la vitesse de prise de cette matière, son durcissement et son inaltérabilité étaient des qualités précieuses dans des travaux où il était si important d'obtenir du premier coup la plus grande solidité possible. C'était une fausse économie d'employer cette matière avec tant de réserve, et certainement les dépenses nécessaires pour réparer les avaries, les retards dans l'avancement des ouvrages et l'augmentation des frais généraux qui étaient la conséquence de ces retards recommandaient l'emploi du ciment dans une plus grande proportion·

Aussi l'un des premiers soins du nouveau directeur et de M. l'ingénieur Mahyer fut d'en faire approvisionner des quantités importantes et d'en prescrire l'usage dans diverses parties des travaux.

On employa dès lors le ciment en mélange avec la chaux, la pouzzolane artificielle et le sable pour les mortiers de pose qu'on fabriquait à la digue. Le ciment seul, ou avec sable seulement, aurait fait prise trop rapidement pour cet usage; les autres matières qu'on y ajoutait étaient introduites dans le mortier, moins dans un but d'économie que pour en retarder le durcissement et permettre par là de poser et de régler les pierres de taille avant qu'il n'eût fait prise.

On employa aussi désormais le cime nten mélange avec les mortiers ordinaires, rouges ou blancs[1], dans les circonstances suivantes :

1° Pour garnir les vides restant au pourtour des pierres de taille des parements du côté de la queue;

2° Pour poser, garnir et rejointoyer des libages employés en chaînes transversales sur toute la largeur de la muraille jusqu'au niveau des hautes mers, chaînes qui étaient faites en grosses pierres smillées du Becquet et dont la destination était de restreindre les dégâts, en présentant de 25 mètres en 25 mètres, sur la longueur de la muraille

[1] Les mortiers dénommés *rouges*, à cause de leur coloration, étaient ceux dans lesquels la pouzzolane artificielle était employée dans les dosages indiqués plus haut; les mortiers dits *blancs* ne renfermaient que de la chaux de Blosville et du sable.

des points d'arrêt contre la propagation progressive des avaries dans le sens longitudinal;

3° Le ciment servit aussi à exécuter, à mi-distance entre les chaînes transversales de libages, d'autres chaînes analogues en maçonnerie de moellons, toutes les fois que les travaux se prolongeaient dans l'arrière-saison et que des coups de vent du large étaient à craindre;

4° On employa le ciment, comme on l'a dit précédemment, pour faire la maçonnerie plate appliquée sur les caisses de la rive Nord de la fondation;

5° On maçonna au ciment la partie extrême de chaque assise, au point où elle devait être limitée à la fin de la campagne, pour empêcher les vagues d'entamer les ouvrages par le bout;

6° Le principal usage du ciment, après son emploi à la pose des pierres taillées, était celui qu'on en faisait dans les maçonneries minces de 5 à 8 centimètres d'épaisseur exécutées en recouvrement sur les assises qui devaient rester exposées à l'action de la mer pendant la durée de l'hiver.

La largeur de ces recouvrements, faits avec des moellons plats choisis parmi les produits des exploitations de l'arrière-bassin, variait en raison de la situation des assises sur lesquelles ils étaient appliqués et des chances de mauvais temps.

Dans les fondations, le platelage en ciment recouvrait quelquefois toute la largeur de la muraille, surtout lorsqu'il était exécuté en mauvais temps et sur des maçonneries ou sur un bétonnage récents, mais le plus souvent il ne régnait que sur la moitié Nord de la largeur.

Dans les assises plus élevées, qui devaient rester à découvert pendant l'hiver, on exécutait le platelage sur 2 à 3 mètres de largeur seulement. On n'appliquait jamais ces platelages sur des assises qui devaient être recouvertes par d'autres dans la *même campagne*.

Une remarque à faire est que ces couches minces de maçonnerie en ciment romain ayant une composition et même quelquefois une

date de confection différentes des masses qu'elles recouvraient, ne contractaient qu'imparfaitement adhérence avec elles; souvent on les trouvait détachées lorsqu'on reprenait les travaux d'exhaussement l'année suivante. On les démolissait partout où il y avait apparence de soufflure. Mais ces platelages n'en avaient pas moins rendu les services qu'on en avait attendus, en formant une croûte dure qui avait servi de bouclier pendant l'hiver aux parties les plus vulnérables de la muraille.

Pour ces diverses destinations on mélangeait le ciment indistinctement avec du mortier ordinaire dans des proportions variables en volume, depuis 1/4 jusqu'à 1/2 de ciment pour 1 de mortier, ou avec du sable dans le rapport de 2 de ciment en poudre non tassée pour 2 ou 3 de sable.

La première composition, la seule souvent qu'on pouvait adopter faute de sables approvisionnés sur place, dans tous les points, au moment du besoin, est considérée comme défectueuse par quelques personnes. Elle a cependant rendu de grands services et donné toujours de bons résultats à la digue. Les parties d'ouvrages faites avec ce mortier mélangé ont protégé les massifs de maçonnerie ordinaire, et ont acquis promptement toute la dureté nécessaire. Elles ont conservé d'ailleurs une dureté finale supérieure à celle des masses considérables de maçonnerie ordinaire, parmi lesquelles elles se trouvent disséminées en très-petites quantités.

Le point essentiel dans l'emploi des ciments à la digue était d'éviter, d'une part, d'en faire usage sans nécessité et, d'autre part, d'adopter un dosage trop faible lorsqu'on jugeait cette matière nécessaire. A dose insuffisante on obtient des résultats insignifiants et une augmentation de dépense sans compensation.

Pour la pose des pierres de taille, où il était de la plus haute importance de donner aux mortiers toute la force compatible avec les conditions d'une exécution facile, on se servit de mélanges composés

de 1 volume de ciment en poudre et 3 de matières sèches, comprenant de la chaux en poudre éteinte, de la pouzzolane artificielle et du sable en quantités égales. Pendant l'hiver, la proportion des matières peu énergiques était réduite jusqu'à 2 pour 1 de ciment.

Les joints de tous les parements vus étaient rejointoyés avec du ciment pur.

Le ciment a été employé plus tard avec le sable exclusivement pour la confection des blocs artificiels de défense des musoirs. En somme, l'usage des ciments s'est étendu de plus en plus dans les ouvrages particuliers qui viennent d'être énumérés, mais l'emploi en a toujours été restreint à ces parties exceptionnelles.

Ces matières ont procuré des économies inappréciables en diminuant la fréquence et la gravité des avaries, par la solidité qu'elles procuraient *instantanément* aux ouvrages, et ont beaucoup accéléré l'exécution des travaux.

On peut dire qu'avec de bons ciments, employés à propos, il n'y avait pas de difficultés graves dans la confection des maçonneries de la digue.

Grâce aux améliorations qui viennent d'être énumérées et à d'autres perfectionnements introduits dans les détails de l'organisation du service, les travaux reçurent une impulsion nouvelle, et s'exécutèrent avec plus d'économie que par le passé.

Pendant l'hiver de 1838 à 1839, on poursuivit l'exécution des maçonneries de la branche Est en exhaussement, comme les années antérieures. Mais les mortiers ordinaires de chaux de Blosville et de sable ne durcissaient pas assez vite *dans cette saison* et laissaient toujours à craindre des avaries considérables.

Le directeur prescrivit alors, sur la proposition de M. l'ingénieur Mahyer, l'introduction de la pouzzolane artificielle dans ces mortiers, et arrêta, à titre provisoire, les dosages en volumes suivants pour les divers ouvrages :

Pour le béton, 2,5/10 de sable, 1,50 de pouzzolane artificielle, 3 de chaux de Blosville, 5 de cailloutis;

Pour le mortier des maçonneries, 2,50 de sable, 1,50 de pouzzolane artificielle et 2 de chaux de Blosville;

Pour le béton des caisses, une certaine proportion de ciment en plus.

En même temps il fit entreprendre par M. l'ingénieur Mahyer une série d'expériences sur les mortiers, dans le but d'arriver à des composés doués d'une prise plus rapide que ceux dont on faisait usage habituellement, sans augmentation sensible du prix de revient. Par suite de ces essais, le dosage des mortiers fut fixé définitivement de la manière suivante :

Pour le mortier ordinaire, employé en *beau temps*, 1 partie de chaux de Blosville en poudre et 2 de sable;

Pour le mortier employé en *mauvais temps*, qui avait besoin d'une prise plus prompte, 3,1/4 de chaux de Blosville, 2 de pouzzolane artificielle, et 7 de sable.

Ces proportions ont été maintenues jusqu'à la fin des travaux.

La chaux était éteinte en poudre par aspersion; son foisonnement était de 0,75.

La nouvelle pouzzolane, fournie par M. Rousseau, provenait de l'usine montée au Becquet et était livrée à la place de celle que ce fabricant envoyait *auparavant de Paris*, à la suite d'essais qui avaient établi sa supériorité sur la première.

Fabrication des mortiers par machines à manége. Planche 1.

Un tonneau et deux manéges furent installés au nouvel arsenal, et mis en service pour la fabrication du mortier. En outre, deux systèmes de manéges à charrue et porte-dents furent établis dans le magasin du môle Nord de l'avant-port de l'arsenal pour le même objet. Cette substitution des machines à chevaux à la confection au rabot, qui était seule pratiquée antérieurement et qui fut réservée désormais pour les cas de consommation exceptionnels, n'était elle-même que provisoire en attendant d'autres installations dans lesquelles on

emploierait la force motrice de la vapeur au corroyage des mortiers.

Mais le béton fut toujours préparé en mêlant, à bras d'hommes, le cailloutis avec le mortier fabriqué comme il vient d'être dit.

Cette opération, qui se pratiquait sur le bord du quai, au point même où l'embarquement devait avoir lieu, n'exigeait qu'une main-d'œuvre presque nulle et se réduisait pour ainsi dire au rapprochement du cailloutis; car, après avoir subi les diverses opérations de l'embarquement à la pelle, presque toujours d'une grande hauteur, la reprise dans les chalands à la digue avec jet dans les bards à cuvette, et la mise en œuvre dans les assises inférieures soumises aux piétinements des ouvriers, le béton se trouvait toujours parfaitement mêlé et trituré, quelque grossièrement qu'eût été fait le mélange primitif.

Travaux de 1839. Dans le cours de l'année 1839, la branche de l'Est atteignit le niveau général des hautes mers d'équinoxe sur la longueur totale de 1,227 mètres. Les tassements, qui avaient continué à se produire, commandèrent encore l'ajournement des travaux en exhaussement au-dessus de ce niveau.

La muraille était rompue sur quatre points de sa longueur par des lézardes transversales qui régnaient dans toute la largeur et dans toute la hauteur, et qui avaient atteint une largeur maximum d'environ 2 centimètres. La masse de maçonnerie était donc partagée en cinq parties que l'on pouvait considérer chacune comme un énorme bloc factice, à l'épreuve des ébranlements produits par les chocs les plus violents des vagues.

L'assise supérieure, dans toute la largeur de la muraille, était exécutée en maçonnerie d'une nature particulière qui doit être citée.

Pour la mettre mieux en état de résister aux attaques de la mer, auxquelles elle devait rester exposée directement pendant plusieurs années, on l'avait faite avec des moellons smillés, posés de champ sur béton et garnis avec un coulis de mortier. On conçoit que cette

disposition paraissait préférable à toute autre pour résister à l'action des vagues qui s'élançaient sur la muraille pendant les coups de vent du large, et aux effets de corrosion que pouvaient produire les énormes paquets de mer qui retombaient verticalement sur le haut du mur, après s'être élevés à des hauteurs quelquefois *de 30 à 40 mètres.*

Le succès de ce mode de construction fut d'abord complet, et il se passa plusieurs hivers sans que le dessus de la branche éprouvât d'avaries.

Mais dans les années suivantes l'assise supérieure fut sujette à des accidents qui décélèrent les vices de sa composition. Elle éprouva des dégradations qui présentèrent un aspect particulier et uniforme. Le pavage en moellons de champ, le béton et les pierres de taille de la *rive Nord*, qui formaient cette assise, se trouvaient enlevés par plaques triangulaires à chaque coup de vent. L'assise en dessous restait intacte, sans aucune dégradation superficielle.

Dégradations dans le dallage horizontal du dessus de la muraille.

On vit par là que le cantelage résistait bien tant que le parement en pierre de taille restait lui-même en place, mais qu'il était inférieur à la maçonnerie ordinaire lorsque ce parement se trouvait une fois entamé. La trop grande liquidité du mortier coulé dans les joints de ces moellons, qu'il fallait poser à sec, et l'hétérogénéité des diverses couches superposées de moellons de champ, de béton et de maçonnerie ordinaire, ne permettaient qu'une adhérence incomplète, et occasionnaient en peu de temps la destruction partielle de l'assise supérieure, aussitôt que le parement se trouvait emporté.

D'ailleurs la main-d'œuvre nécessaire au smillage des moellons et à la confection du cantelage était considérable; et par suite de la lenteur d'exécution de ce genre d'ouvrage, il arrivait souvent que les maçonneries des assises en-dessous éprouvaient de graves avaries faute d'un recouvrement protecteur dont la préparation exigeait trop de temps.

A la hauteur où régnait cette assise, les mortiers n'étaient plus bai-

gnés par la mer et se trouvaient dans des conditions de dessiccation et de durcissement assez favorables pour permettre l'emploi de la maçonnerie ordinaire. Le dessus de la muraille étant arrêté provisoirement à 1 mètre environ en contre-haut des grandes marées, se trouvait encore plus élevé que le niveau des pleines mers *calmes*, même après que les tassements s'étaient produits.

Si l'on cherche les causes de ces arrachements partiels de l'assise de couronnement provisoire de la branche Est, on en trouve tout d'abord une explication assez plausible dans l'action réitérée du choc des vagues qui, à la longue, avait produit la dislocation des mortiers de pose du parement. Mais une autre circonstance avait dû y contribuer aussi. Les pierres de taille présentaient généralement une petite pente transversale vers l'intérieur de la muraille pour le parement Nord, par suite du démaigrissement en queue, et même une pente très-prononcée pour le parement Sud, en raison du fruit de ce dernier. Des flaques d'eau salée restaient stagnantes entre les arêtes des parements, et les moellons de champ, dans toute l'étendue de la muraille sur les deux rives.

Ces eaux salées acquéraient en été une haute température et un degré de concentration qui arrivait souvent à la saturation.

Les mortiers des joints des parements Nord et Sud, baignés constamment par ces eaux, se trouvaient exposés ainsi à une cause de détérioration puissante qui était encore une conséquence du mode de confection de la dernière assise.

Si l'on ne s'était pas aperçu de la décomposition des mortiers de pose dans les joints du parement Nord, c'était sans doute parce que les vagues arrachaient les pierres de taille avant que l'altération fût évidente. Mais l'effet devait être mieux marqué du côté du Sud, qui est moins exposé aux avaries, et c'est bien en effet ce qui a eu lieu, car il a fallu relever et reposer un assez grand nombre de pierres de cette assise, dont les mortiers étaient détériorés lorsqu'on exécuta la tranche horizontale de couronnement de cette branche.

On attribua alors cet état de choses à l'effet des vibrations réitérées produites par les coups de mer, à la mauvaise qualité accidentelle des matières employées, à des malfaçons, à toute autre cause, en un mot, qu'à la cause réelle, qui n'était pas connue alors. Aujourd'hui il n'est plus permis de douter qu'il s'était produit là un effet de décomposition sous l'influence de l'eau de mer concentrée à une haute température, agissant sur des mortiers composés de chaux hydraulique et de pouzzolane artificielle.

Quelle que fût la valeur de ces aperçus, n'y eût-il même qu'un simple doute, on en devait conclure qu'il était de la plus haute importance de surveiller attentivement l'état des rejointoiements extérieurs en ciment pur appliqué sur tous les parements de la digue. Il n'était pas douteux que si ces joints en ciment se trouvaient abandonnés à eux-mêmes et dégradés, les mortiers de pose intérieurs, exposés alors directement à la double action dynamique et chimique de la mer, ne se détruiraient progressivement du dehors au dedans, au moins à la muraille de la branche Est jusqu'au niveau des hautes marées, et qu'après un certain nombre d'années, le parement Nord se trouverait amené à peu près à l'état d'un parement à pierres sèches.

Ces considérations font ressortir aussi la nécessité de se mettre en garde contre les flaques d'eau en stagnation permanente sur les maçonneries dans les ouvrages en construction à la mer.

Elles motivaient seules la suppression des cantelages, qui n'ont été abandonnés qu'en 1844, et qu'on a remplacés alors par de la maçonnerie ordinaire en pierre de taille.

Avec elle on a pu donner à l'assise supérieure un profil transversal, bombé régulièrement d'une arête à l'autre, pour rejeter les eaux en dehors de la muraille, ce qui a prévenu le retour d'accidents semblables à ceux dont il s'agit sur les deux derniers tiers de la branche de l'Ouest, où cette modification a été réalisée.

Avant de commencer les fondations de la muraille de la *branche de*

l'Ouest, il y eut à construire, dans le cours de l'hiver de 1838 à 1839, des murs de soutènement insubmersibles du côté du Nord et du côté de la rade, pour l'établissement d'un terre-plein provisoire de communication entre la batterie centrale et le point où les travaux définitifs devaient être entrepris, sur une longueur d'environ 75 mètres correspondante à l'emplacement des anciens ouvrages élevés autrefois au-dessus du niveau des hautes mers de ce côté du fort central.

Établissement en 1839 du chemin de communication *provisoire* du fort central avec l'origine dite branche Ouest de la digue. Planche 2.

Le tracé de ce chemin provisoire et de ses murs de soutènement fut porté le plus possible vers le Nord, de manière à se trouver presque partout en dehors de l'emplacement présumé des ouvrages *définitifs* à construire ultérieurement pour le raccordement définitif de la branche avec la batterie, et pour l'établissement d'un petit port dont les dispositions n'étaient pas encore arrêtées.

D'après l'expérience qu'on avait acquise des effets produits par la mer depuis 1832 sur le chemin de communication provisoire de l'Est, on n'hésita pas à faire ces murs de soutènement en bonne maçonnerie hydraulique du côté du large et à abaisser le plan des fondations *jusqu'au niveau des basses mers de vives eaux ordinaires.* Ces dispositions étaient excellentes; aussi ce terre-plein provisoire a résisté constamment aux attaques de la mer, sans exiger de soin ni de dépense d'entretien, et aujourd'hui il subsiste encore, bien qu'il ait fallu le couper à ses deux extrémités pour l'exécution des murs définitifs de raccordement.

Situation des enrochements sous-marins de la branche Ouest.

Avant d'entreprendre les maçonneries de la branche de l'Ouest, le directeur et M. l'ingénieur Mahyer avaient porté leur attention sur le gisement des enrochements sous-marins de cette branche et sur la position qui avait été assignée à la muraille.

D'après des sondages exécutés en 1835, M. Virla en avait déterminé le tracé en cherchant seulement à réduire au minimum le cube des enrochements supplémentaires; et pour atteindre ce but, il avait fixé l'alignement le plus au Sud possible, de manière qu'il y eût peu de re-

chargements à faire du côté du Nord, où les talus étaient très-allongés.

Mais par suite des irrégularités que présentaient les versements anciens, ce tracé sur le bord Sud de la base rencontrait en plusieurs points des criques qu'il eût fallu combler en rapportant des enrochements sur plus de 12 mètres de profondeur. Une de ces criques, dans le voisinage du musoir de l'Ouest, présentait une longueur considérable.

La muraille, dans les différents points de sa longueur, se serait donc trouvée posée soit sur une base ancienne, mais tout près de la rive Sud, soit mi-partie sur des enrochements anciens et sur des nouveaux, soit même sur une base de formation récente. Elle aurait éprouvé par conséquent des tassements considérables et inégaux comme la branche de l'Est, et sans doute aussi des catastrophes du genre de celle de 1836.

Ce tracé fut changé et fit reporter de 25 mètres au Nord l'extrémité Ouest de la branche, modification qui plaçait la muraille, dans toute sa longueur, sur la base ancienne, et qui laissait au Sud toutes les criques à combler.

Les versements à opérer dans ces criques ne devaient servir qu'à former la risberme du côté de la rade.

L'extrémité Est de la même branche vers le fort central fut en même temps reportée en sens inverse d'une dizaine de mètres au Sud, pour faire croiser au même point de l'axe du fort central les alignements des deux branches.

Ce déplacement pouvait se faire sans inconvénient, vu que les enrochements du premier tiers de la longueur de la branche de l'Ouest s'étendaient encore à plus de 10 mètres au Sud de l'emplacement modifié de la muraille.

Ainsi, les deux branches de la digue présentent une différence marquée dans la position relative des murs et de la base sous-marine. Du côté de l'Est, les enrochements complémentaires nécessaires pour l'achèvement de la digue ont été faits entièrement au Sud de la masse

primitive, et la muraille a été placée en partie sur ces enrochements nouveaux.

A la branche de l'Ouest on a fait aussi des versements au Sud pour élargir la risberme dans certains points, mais la muraille ne repose nulle part sur une base de formation récente.

Il résulte de cette dissemblance que la largeur de la risberme est beaucoup plus grande en général à l'Ouest qu'à l'Est, inégalité qui n'a peut-être pas été sans influence sur les tassements.

Il est facile de voir à basse mer que les enrochements nouveaux de la branche Est ont presque effacé les saillies des anciens cônes du côté de la rade, et que le contraire a eu lieu à l'autre branche où ces cônes sont représentés par des élargissements semi-circulaires en saillie sur l'alignement général au-dessous du niveau des marées basses de fortes vives eaux.

Ces cônes, les plus anciens ouvrages de la digue, qui étaient élevés primitivement au-dessus du niveau des plus hautes mers et qui avaient supporté tant de tempêtes, devaient être et ont été aussi des points plus résistants que les parties intermédiaires sous le poids des murailles. On peut remarquer, en effet, que les principales lézardes transversales leur correspondent. Mais ils ont eu une influence moins marquée à la branche de l'Ouest, où ils ne se trouvent qu'en petit nombre, à grands intervalles et qu'en partie engagés dans la base ; tandis qu'à la branche de l'Est ils sont au contraire presque entièrement englobés dans les enrochements sous la muraille.

Explication des tassements moindres dans les enrochements sous-marins de la branche Ouest, que dans ceux de la branche Est.

D'ailleurs, d'après ce qui a été dit précédemment sur la manière dont les enrochements anciens sous-marins avaient été conduits dans les deux branches, et sur le cheminement de la crête de la base qui s'était avancée sous l'action de la mer parallèlement à elle-même de 10 à 15 mètres du Nord vers le Sud; le massif général de fondation peut être considéré comme composé de deux zones longitudinales inégalement compressibles, savoir :

La zone au Nord de la ligne des centres des anciens cônes, dont la formation a eu lieu de premier jet, et qui a supporté l'effet direct du choc des vagues pendant une longue période d'années, par tous les vents du large ;

Et la zone au Sud de cette ligne qui s'est en partie formée d'elle-même avec les matériaux enlevés par la mer à la zone précédente, et qui a été complétée par des versements nouveaux là où il en était besoin.

De toutes manières cette deuxième zone, pendant le temps de sa formation comme après, a toujours été protégée contre les coups de mer du dehors, par les remblais préexistants du côté du Nord, et sa compressibilité finale devait peu différer de celle que présenterait un amas de matériaux de même hauteur qui n'aurait pas du tout subi les effets de l'agitation de la mer.

C'est en cela que réside principalement la cause des tassements considérables et inégaux de la branche de l'Est, et l'affaissement plus prononcé de la rive Sud de cette muraille que de sa rive Nord. On voit par là combien la modification apportée au tracé de la branche Ouest a eu sous ce rapport d'heureux résultats, et pourquoi les tassements de cette branche ont été beaucoup moins prononcés et n'ont pas présenté de différences sensibles entre le côté du Nord et celui du Sud.

On peut déduire aussi de ces remarques la conséquence : que la meilleure marche à suivre dans la formation d'un enrochement de base comme celui de la digue de Cherbourg, en supposant identiques les conditions d'exposition à la mer, de grosseur des matériaux, serait de diriger les versements de manière que la crête primitive du talus, vers le large, qui paraîtrait au niveau des marées basses, se trouvât correspondre à peu près à l'emplacement du parement Sud des maçonneries, et même un peu au Sud de ce parement.

Alors les rechargements complémentaires se feraient tous du *côté du large*, où ils seraient comprimés par les vagues pendant leur forma-

tion, et il n'y aurait pas de travaux d'art à établir sur des élargissements de la base faits après coup du côté de la rade.

Les matériaux versés sur le talus extérieur pour le rechargement de la base, dans la longueur de la première moitié de la branche de l'Ouest, forment une couche de 1 à 2 mètres d'épaisseur maximum, que l'on exécutait autant que possible une année avant les fondations.

Mais il arrivait souvent que la base n'atteignait sa hauteur complète que dans le cours de la campagne où les fondations devaient être exécutées, et peu de temps avant le bétonnage de la première couche de la muraille. Ces rechargements, d'une faible hauteur, n'ont eu aucun inconvénient.

Il faut noter d'ailleurs que les matériaux d'enrochement provenant des exploitations de l'arrière-bassin comprenaient des pierrailles très-petites et des écalins mélangés avec les moellons, ce qui laissait moins de vides dans l'intérieur de la masse, et permettait aux talus de prendre plus promptement une inclinaison suffisamment douce, en attendant le recouvrement en blocs de défense.

L'emploi de ces menus matériaux dans les enrochements complémentaires de la branche de l'Ouest a certainement contribué aussi à modérer les tassements.

Outre ces considérations, il faut encore avoir égard à la composition différente du sol sous-marin sur les différentes parties de la longueur de la digue. Dans l'emplacement du fort central et de la branche de l'Est, les fonds sont formés de sable un peu vaseux sur une profondeur inconnue. Sous la branche Ouest, au contraire, les sables n'ont qu'une petite épaisseur et sont parsemés d'affleurements de roches et de bancs de coquillages.

Mais il serait difficile d'assigner, même par aperçu, la part qu'il faut attribuer à cette dissemblance dans l'affaissement général de la digue.

Travaux de 1839. Les travaux de fondation de la branche de l'*Ouest* ont été entrepris en février 1839. Il y a eu d'abord à enlever une quantité considérable

de blocs d'enrochement qui recouvraient les 150 premiers mètres de la branche, et qui provenaient, comme ceux qu'on avait trouvés dans l'emplacement de la première tranche de la branche de l'Est, des ouvrages d'exhaussement entrepris autrefois sous la direction de M. Cachin, pour l'achèvement de la digue. Ces blocs, relevés à l'aide de bateaux et de fourches, ont été rejetés sur le talus Nord pour servir à la défense des fondations.

Les travaux ont été exécutés de la même manière qu'à la dernière partie de la branche de l'Est. Les ouvrages d'art de la risberme, du côté du large, ont consisté dans l'établissement d'*une simple* rangée de caisses, qui ont été posées à marée basse de vive-eau en avant du parement et remplies de béton *sur place*, disposition qu'on a appliquée à la branche de l'Ouest tout entière et aux deux musoirs extrêmes.

Situation des travaux à la branche Ouest à la fin de 1839. Planche 5, fig. 3 et 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

L'exécution des maçonneries n'a présenté aucune particularité. La longueur des fondations faites à la fin de l'année était de 225 mètres élevés jusqu'au-dessus de la première assise. La deuxième assise était posée sur 120^{m},00, la troisième sur 50^{m},00, les assises supérieures, jusqu'à la onzième inclusivement, étaient amorcées sur de petites longueurs. Cette situation était très-satisfaisante et n'eût rien laissé à désirer si les fondations eussent été recouvertes de *la deuxième assise* dans toute leur longueur.

Dans le cours de cette année, le service des transports par mer à la voile attira plus particulièrement l'attention des ingénieurs, et reçut d'importantes améliorations. Ces transports avaient pour objet deux espèces principales de matériaux, les blocs et les moellons, qui exigeaient des bateaux différents.

Pour le transport des blocs, la Direction avait eu à sa disposition jusqu'alors huit barques à voiles qui lui appartenaient et qu'elle équipait et armait à ses frais. Ces huit bâtiments étaient secondés par trois autres en mauvais état qui appartenaient à des particuliers.

Le nombre total de onze bateaux à blocs était à peine suffisant, eu

égard aux difficultés du versement des blocs sur les parties supérieures des talus du large, par suite de l'état habituel d'agitation de l'eau, et du peu de temps disponible pour effectuer cette opération pendant la durée des hautes mers calmes.

Cependant un de ces bateaux venait d'être condamné pour cause de vétusté; trois ou quatre autres devaient l'être prochainement pour le même motif, et depuis peu, il s'en était perdu un en rade, à la suite d'un abordage.

Un appel au commerce fût resté sans résultat. Les particuliers armaient assez volontiers des barques pour le transport des moellons, mais ils refusaient de se livrer à la même spéculation sur les blocs. La raison de cette différence provenait sans doute de la facilité d'utiliser au transport des pierrailles tout vieux bâtiment de petite dimension, quelle qu'eût été sa destination ou son mode de construction primitif, tandis que le transport des blocs et les mouvements d'embarquement et de débarquement de ces gros matériaux exigeaient des navires solides et parfaitement gréés.

La nature spéciale des apparaux et du gréement, l'usure plus rapide des objets en service à bord, et l'importance numérique d'un équipage de six à sept hommes d'élite, nécessaire pour opérer les mouvements des grosses pierres à l'embarquement et au débarquement au large, étaient des causes qui détournaient les particuliers de ce genre d'entreprises. Il eût fallu des prix plus élevés que ceux des tarifs en vigueur et peut-être même des stipulations de garantie d'emploi pendant une longue série d'années, pour les engager à s'y livrer.

Confection de nouveaux bateaux à voiles pour les transports par mer des blocs naturels de défense vers le large à la digue. Planche 11, fig. 1, 2 et 3.

Le directeur fit appliquer, à partir de 1839, des tarifs nouveaux qui présentaient une augmentation notable sur les prix alloués pour le transport des blocs par les bâtiments des particuliers; mais aucun bâtiment ne vint s'offrir, et on dut dès lors suffire au service avec les propres ressources de la direction, par conséquent faire confectionner de nouveaux bateaux.

Après un examen comparatif des différents moyens admissibles, on se décida à recourir au commerce par voie d'adjudication. Un essai de ce genre avait eu lieu déjà en 1834, mais par suite de rabais trop forts auxquels avait poussé la concurrence, le soumissionnaire s'était vu dans l'impossibilité de remplir ses engagements. On s'était adressé à la suite de cela à la direction des constructions navales, qui avait exécuté pour le compte de la direction des travaux hydrauliques deux barques dont les dispositions satisfirent à toutes les exigences du service, et dont les devis furent adoptés pour les nouveaux bâtiments demandés au commerce.

Le prix du premier bateau, construit en 1839, fut environ de 18,000 francs, pour la coque seulement.

Une deuxième adjudication pour un second bateau eut lieu la même année, au prix de 21,000 francs, y compris un petit canot.

Le caractère particulier de ces navires était une grande solidité.

Leur fond à mailles pleines et à façons aplaties leur permettait d'*échouer* dans les différents lieux de chargement et de déchargement au nouvel arsenal, au port marchand, au Becquet, sur des points quelconques de la côte, et à la digue, sans qu'ils courussent de dangers. Souvent ils sont restés à sec pendant une marée basse sur *des pointes de blocs* et se sont relevés ensuite sans avoir éprouvé d'avaries; mais on évitait autant que possible de les placer dans une situation aussi critique.

Il est évident:

Que les dangers auxquels ils étaient exposés en échouant accidentellement sur les blocs à la digue, lorsqu'ils opéraient leur versement sur les parties élevées des talus *du large*, qui n'étaient recouvertes d'une quantité d'eau suffisante que pendant *environ* une heure à *haute mer de vive-eau seulement*, ou à la côte lorsqu'on les y envoyait chercher des libages de granit;

Que les avaries qui pouvaient résulter de la chute des blocs tombant d'une certaine hauteur dans la cale, à l'embarquement ou au débar-

quement, par suite de la rupture accidentelle de quelques apparaux;

Exigeaient une solidité que ne possèdent pas ordinairement les navires affectés à la petite navigation du cabotage.

Ainsi, il n'y eut bientôt plus que des bâtiments de l'Etat affectés au transport des blocs. Le nombre dut en être entretenu au chiffre de dix à onze par des constructions neuves, à mesure qu'il fut besoin de remplacer ceux qui étaient à condamner. Ce nombre total fut même porté à quatorze par les accroissements donnés à cette partie du matériel; mais alors les quatre plus vieux furent destinés au transport des moellons, et les dix autres seulement à celui des blocs.

Renseignements sur les transports par mer, à l'aide de bateaux de l'Etat ou de bateaux particuliers.

Tous ces bâtiments, construits sur le même type, étaient des sloops portant 24 mètres cubes massifs de pierres, du poids de 2,600 kilogrammes l'un, ou 62 tonneaux 410.

Planche 11, fig. 1, 2 et 3.

Ceux qui étaient armés pour le transport des blocs ne différaient de ceux à moellons que par la plus grande force donnée aux objets de gréement, qui servaient au levage des blocs lors de l'embarquement ou du débarquement.

En se servant des caliornes qui faisaient office de haubans sur l'un ou l'autre bord, et en faisant à volonté usage du guindeau, l'équipage, composé de six hommes et d'un maître ou patron, avait à sa disposition tous les moyens nécessaires pour proportionner la force exercée au poids des blocs qu'il s'agissait de manœuvrer.

Le maître ou patron était responsable de tout le matériel du bateau et devait le rendre au complet lors du désarmement, et dans le même état, sauf l'usure naturelle et les pertes ou avaries par suite d'accidents de force majeure.

Il choisissait lui-même son équipage, et faisait entre ses hommes et lui la répartition des salaires mensuels résultant de l'application du tarif aux quantités de pierres transportées. Ces équipages étaient assujettis en tout point aux lois, règlements et usages de la marine.

Comme indication du travail fait par ces bâtiments, on peut dire que

pendant les années 1837 et 1838, pour une période de vingt mois d'activité, les bateaux à blocs appartenant à l'Etat ont fait en moyenne *dix voyages par mois et dix-huit au maximum.* Les salaires mensuels moyens, pour l'équipage, pendant le même temps, se sont élevés à 440 francs par bateau et à 890 francs au maximum. Pendant l'année 1839, sept barques à pierres ont été en activité pendant des nombres de jours différents, formant un total de seize cent vingt-trois journées, et les salaires des équipages des sept bateaux réunis ont monté à 31,632 francs.

En comparant les produits transportés par les bâtiments de l'État avec les dépenses initiales de construction, de gréement et d'armement de ces navires, et en tenant compte des frais d'entretien et de dépérissement pour une durée hypothétique de douze années au bout desquelles un bateau est censé ne posséder plus que la moitié de sa valeur initiale et avoir besoin d'une refonte, les ingénieurs trouvaient à cette époque que chaque barque à pierres, gréée et armée aux frais de l'Etat, et représentant une valeur totale de 35 à 37,000 francs, produisait un déficit annuel de 2,200 francs sur les résultats qu'on aurait obtenus par l'application des tarifs en vigueur à des bâtiments appartenant à des particuliers.

C'est à ce prix que la marine achetait la faculté d'échapper à l'insuffisance de l'industrie privée et évitait des exagérations de fret qui auraient probablement dépassé cette somme, si l'on avait tenu à tout prix à se débarrasser de ce transport.

Les bateaux des particuliers étaient affectés au transport des pierrailles pour les enrochements et des moellons pour les maçonneries.

Ils étaient payés en raison du nombre de mètres cubes massifs transportés, et d'après un tarif qui comprenait, dans une seule série de prix, le loyer du bateau et les salaires des équipages. Le tarif constituait un véritable contrat d'affrétement entre la marine et les propriétaires pour la durée d'une campagne.

Les prix étaient à peu près le double, en moyenne, de ceux qui étaient alloués aux barques de l'Etat. La moitié revenait au propriétaire armateur du bateau, et l'autre moitié restait à l'équipage.

Le nombre de ces navires a varié beaucoup d'une année à l'autre, selon les besoins du service et les bénéfices plus ou moins grands que pouvaient procurer les tarifs en vigueur. Pendant les années 1837 et 1838, le nombre moyen de ces bateaux a été de seize pour les vingt mois de navigation de ces deux exercices.

Leur tonnage moyen était de 30 tonneaux. Les équipages étaient formés d'un patron et de trois à cinq hommes, selon leur capacité.

Pour une moyenne de treize voyages par mois et par bateau, les salaires mensuels ont été de 380 francs, dont 190 pour le propriétaire armateur et 190 pour l'équipage.

Pendant l'année 1839, trente et un bateaux appartenant aux particuliers et jaugeant ensemble 1,000 tonneaux ont fait 5,316 journées de service et gagné 104,634 francs, dont moitié pour les propriétaires.

Les bateaux des particuliers n'étaient considérés que comme auxiliaires de ceux de la Direction. Ils étaient congédiés les premiers lorsque l'achèvement des travaux d'une campagne, l'épuisement des crédits ou toute autre cause forçaient d'opérer des réductions.

Les barques que l'on conservait en armement chaque hiver, au nombre de deux ou trois pour tous les besoins éventuels du service, étaient toujours choisies parmi celles du gouvernement.

Les matériaux que transportaient ces divers bâtiments provenaient des exploitations entreprises en 1836 pour le creusement de l'arrière-bassin dans le nouvel arsenal, ou des carrières ouvertes à la montagne du Roule et sur les coteaux du Becquet, depuis l'origine des travaux de la digue; et quelquefois de divers points sur les côtes situées à l'Est et à l'Ouest de la rade.

Exploitation des car-

Les carrières de grès quartzeux du Roule, mises en exploitation dès

rières de grès quartzeux du Roule (à l'entrée de Cherbourg) pour les blocs naturels de défense des enrochements sous-marins de la digue vers le large. Planche 4.

l'origine des travaux de la digue, produisaient des blocs de défense pour le recouvrement du talus du large, et des moellons pour les enrochements complémentaires du massif de base de la digue.

Ces carrières, dont la marine avait acquis l'usufruit indéfini, étaient exploitées par un entrepreneur, en vertu d'un marché passé avec lui en 1810, à des conditions qui se trouvaient désavantageuses pour l'Etat; et, malheureusement, l'expiration de ce marché n'avait d'autre terme que le complément d'une fourniture de 90,000 mètres cubes massifs de blocs et des *deux tiers* de cette quantité en moellons, que l'exploitation des gros matériaux devait nécessairement produire.

Outre les indemnités de terrain et de carrières, le marché laissait à la charge de la marine la réparation des accidents et dommages causés par l'explosion des mines, qui n'était pas sans importance, vu le voisinage de propriétés bâties. Cette stipulation avait surtout l'inconvénient d'obliger les agents de la marine à faire des estimations contradictoires et des liquidations d'indemnités qui absorbaient beaucoup de temps par suite des accidents réitérés que l'entrepreneur n'avait, de son côté, aucun intérêt à prévenir.

La construction du chemin de fer du Roule, des grues, des appontements et du matériel roulant de l'exploitation, qui avait eu lieu aux frais du gouvernement, avait été l'occasion d'une première modification au marché primitif.

A la suite d'essais, deux conventions de gré à gré, sanctionnées par le Ministre, en 1834 et 1835, avaient réduit le prix des blocs de 10 fr. 695 à 5 fr. le mètre massif, embarqués au port du commerce, et celui des moellons de 6 fr. 045 à 5 fr., en laissant l'entretien de tout le matériel à la charge de l'Etat.

On avait eu le tort de mettre ces deux espèces de matériaux au même prix, et de ne pas favoriser la production des blocs plutôt que celle des moellons, que l'on ne prenait que par considération de l'impossibilité d'extraire les gros matériaux sans les petits, et auxquels on pouvait

suppléer avec avantage, au moyen des produits du creusement de l'arrière-bassin.

C'était une faute aussi que de n'avoir pas intéressé l'entrepreneur à la conservation du matériel et de n'avoir pas mis à profit la circonstance pour passer à sa charge les indemnités relatives aux dommages et accidents, moyennant une légère augmentation de prix.

Au commencement de 1839, les fournitures faites depuis l'adjudication de 1810 se composaient de 44,880 mètres cubes massifs de blocs et de 37,620 mètres cubes massifs de moellons. La proportion de 3/5 de blocs et de 2/5 de moellon était donc dépassée par un excédant de matériaux de cette dernière catégorie. L'importance annuelle des livraisons était moyennement de 5,000 mètres cubes massifs de blocs, et de 4,300 mètres cubes massifs de petites pierres.

Les ingénieurs tirèrent parti de cette situation, et amenèrent l'entrepreneur à souscrire une convention additionnelle, en vertu de laquelle les quantités de blocs et de moellons fournies antérieurement furent comptées en entier et défalquées du chiffre total de 150,000 mètres cubes massifs, sans distinction de grosseur des matériaux. Le reste de cette soustraction fut arrêté comme chiffre total du complément de la fourniture, avec faculté pour la marine de déroger au rapport d'assortiment primitivement fixé.

En même temps un rabais de 20 pour cent fut stipulé sur le prix des moellons, qui atteignaient rarement le poids exigé, et qui cependant avaient été admis jusqu'alors sans réduction, par pure tolérance.

Le principal avantage que la marine tirait de cette convention additionnelle était le rapprochement de l'expiration d'un marché onéreux.

Dans les cahiers des charges relatifs aux adjudications ultérieures de l'exploitation de cette carrière, on mit à la charge des soumissionnaires les indemnités de toute nature ainsi que l'entretien du matériel d'exploitation et de la voie.

Mais il est arrivé alors que les entrepreneurs qui avaient cet entretien à leur compte, et dont les engagements envers la marine étaient restreints à un petit nombre d'années, ont laissé user les choses à bout, sans donner à l'entretien les soins qu'une bonne gestion aurait commandés.

Si les conséquences de cet état de choses n'ont eu rien de fâcheux, c'est que le chemin de fer ne produisait aucune économie réelle dans les frais de transport, et qu'il était à peu près indifférent que ce chemin, avec son matériel spécial, se trouvât hors de service un peu plus tôt ou un peu plus tard.

Dans le dernier marché passé pour la fourniture des blocs du Roule, et qui est encore en vigueur pour compléter la couche de défense et subvenir à l'entretien de la digue, on a ajouté à l'exploitation, au transport par terre et à l'embarquement, la fourniture de bateaux et d'équipages pour les transports en rade et les versements.

Cette combinaison, qui n'était pas nécessaire, tant que la direction avait dû entretenir des bateaux armés pour les besoins divers des travaux de la rade, satisfait à toutes les convenances du service, aujourd'hui qu'il n'y a plus à porter à la digue que des blocs de défense provenant des carrières du Roule, préférables par leur dureté aux matériaux de toute autre origine.

Exploitation des carrières de schiste granitique du Becquet (côte Est de la rade) pour les matériaux d'enrochements et de maçonneries de la digue. Planche 1.

Les carrières du Becquet produisaient des blocs pour enrochements de défense et des moellons employés principalement à la construction des maçonneries. Ces carrières, acquises autrefois par la marine, étaient exploitées en vertu d'un marché passé en 1811 pour la fourniture de 100,000 mètres cubes massifs de blocs et de 50,000 mètres cubes massifs de moellons que l'entrepreneur était autorisé à livrer en même temps que les blocs, parce que l'extraction des gros matériaux ne pouvait avoir lieu sans en donner de petits. Mais, par suite de la préférence qui avait été accordée aux ouvrages en maçonnerie pour l'achèvement de la digue, la consommation des moellons avait pris une grande extension.

Les livraisons effectuées par le fournisseur se composaient, au commencement de 1839, de 31,724 mèt. cubes massifs de grosses pierres, et de 69,666 de petites. Le total en moellons, stipulé au marché, était donc déjà dépassé. L'importance annuelle des fournitures s'élevait à plus de 86,000 fr. Les blocs étaient payés au prix de 8 fr. 80 c. embarqués au port du Becquet (non compris transports en mer, versements ou déchargements).

Les ingénieurs amenèrent le soumissionnaire à une transaction qui rendit la continuation de ce marché beaucoup moins onéreuse pour l'Etat. Il fut convenu que les blocs et les moellons livrés jusqu'alors compteraient au même titre dans le total de 150,000 mètres cubes massifs dont ils seraient défalqués, et que la différence représenterait la quantité restant à livrer, sans rapport défini d'assortiment entre les diverses catégories de pierres. Le résultat de cette convention additionnelle fut d'avancer considérablement la cessation de la fourniture, qui avait été adjugée à des prix trop élevés.

Outre les blocs de défense que les carrières du Becquet produisaient, et qui étaient versés pêle-mêle à la digue avec ceux du Roule, on en tirait des libages qu'on smillait avant l'embarquement, pour la construction des chaînes transversales mentionnées plus haut. Les tablettes taillées de 30 centimètres de hauteur maximum, qui formaient socle sous la première assise des deux parements Nord et Sud, dans toute la longueur de la muraille, et qui étaient posées sur la couche de béton des fondations, provenaient également de ces carrières.

La main-d'œuvre de taille était exécutée par un atelier en régie que la Marine occupait au Becquet. Mais l'exploitation de tous ces matériaux, le transport par terre et l'embarquement étaient faits par l'entrepreneur, comme pour les blocs bruts, et aux mêmes prix.

La pierre du Becquet est une espèce de grès grossier à pâte schisteuse, contenant des grains de quartz de quelques millimètres de gros-

seur, qui se taille à la grosse pointe assez facilement. Elle est beaucoup plus tendre que la pierre du Roule, qui est un grès quartzite très-serré, extrêmement dur et presque intaillable.

La pesanteur spécifique du mètre cube massif de ces deux espèces de pierres est de 2,600 kilogrammes.

Les blocs du Roule sont préférables par leur dureté à ceux du Becquet pour la défense du talus du large ; aussi on a renoncé à ces derniers aussitôt qu'il a été possible de le faire et avant que les ouvrages de maçonnerie fussent terminés.

Le creusement de l'arrière-bassin au nouvel arsenal, qui n'avait produit d'abord que des pierrailles pour enrochements, fournit plus tard des moellons qu'on employa aux maçonneries, concurremment avec ceux du Becquet. Dans les dernières années des travaux, ces moellons furent même les seuls employés, après qu'on eut abandonné l'exploitation des carrières du Becquet.

Les matériaux de ces diverses provenances étaient transportés à la digue indistinctement par les bâtiments de l'Etat ou des particuliers. Au Roule et au Becquet, le chargement était au compte des fournisseurs. Au nouvel arsenal, il avait été effectué jusqu'en 1839 par des brigades de manœuvres au compte de la Direction ; mais il fut mis ensuite à la charge des équipages, moyennant l'application des prix stipulés dans les tarifs.

En 1839, *le Rapide*, dont les machines étaient en très-mauvais état, fut envoyé à Indret pour prendre un nouvel appareil moteur à quatre cylindres, du système de M. l'ingénieur Rossin. Pendant les deux années d'absence de ce navire, le service du remorquage fut fait par *l'Actif*, assisté du *Rameur*.

La campagne de 1840 s'ouvrit au commencement du mois de mai et donna d'assez bons résultats. 338 mètres de fondation furent entrepris à la branche de l'Ouest. Mais la première assise ne s'étendait que sur 158 mètres, la tablette-socle sur 287, et le reste était garni seule- Travaux de 1840. Planche 3, fig. 3 et 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

ment de caisses de défense. On ne doit donc compter les fondations faites dans cette campagne que pour une longueur de 187 mètres, qui étaient même dans un état imparfait, puisque la première assise ne régnait seulement pas sur toute cette étendue. Aussi les blocs de défense furent jetés sur ces fondations dans la mauvaise saison et y firent beaucoup de dégâts. Cent cinquante de ces blocs restèrent sur le béton, et quatre cent cinquante-quatre passèrent sur la risberme Sud (1).

Un marché fut conclu dans le cours de cette année pour la construction de deux bateaux à blocs.

Les bons résultats qu'on avait obtenus depuis deux ans de la confection des bateaux par le commerce, et la considération du prix élevé auquel était ressortie la confection en régie des chalands dans les chantiers du port militaire, déterminèrent à recourir aussi à l'industrie privée pour la construction de tous les chalands neufs qui furent nécessaires ultérieurement à l'entretien et à l'accroissement du mobilier en service. Ces chalands ont été adjugés au prix moyen de 6,000 fr pour la coque, sans gréement.

Dans le cours de la campagne 1840, on découvrit des fraudes graves qui se commettaient dans les transports par mer. Les lignes de jauge des bateaux des particuliers étaient presque toutes mal placées et ne concordaient plus avec le chiffre officiel de jauge qui servait de base au règlement des salaires.

Ce qu'il y avait de plus grave encore, c'est que la jauge était le mode de mesurage adopté pour les fournitures des matériaux du Roule et du Becquet, et que la fraude commise faisait payer par l'Etat aux entre-

(1) Les fondations de murailles étaient, dans les coups de vent du large, franchies par les blocs de défense, lorsqu'elles n'étaient pas élevées jusqu'au niveau du dessus de la deuxième assise. Il se formait ensuite autour de ceux de ces blocs qui restaient sur le béton de la fondation des affouillements curvilignes, qui étaient à mer montante percés par le syphonement des eaux de bas en haut.

preneurs des quantités de pierres plus considérables que les fournitures réelles. Ces fraudes, qui remontaient aux premiers temps des travaux et qui avaient occasionné des pertes importantes, furent réprimées. Des mesures de surveillance bien organisées et un choix de meilleurs agents prévinrent le retour de semblables abus par la suite.

Cette année fut la dernière dans laquelle on fit usage de la chaux artificielle. Depuis longtemps on ne trouvait plus à cette chaux aucune supériorité que celle du prix sur la chaux hydraulique naturelle du pays, et on n'en employait que pour remplir les conditions d'un marché passé en 1836 avec M. Paul Rousseau. Le minimum, 3,750 mèt. cubes, qui avait été stipulé dans ce marché, au prix de 58 francs, ne fut pas dépassé. Ce chiffre, augmenté de 500 mètres cubes fournis par le même fabricant, en vertu de la convention de 1835, représente donc le total de la chaux artificielle qui est entrée dans la construction de la digue. A part cette petite quantité, toute la chaux est provenue des fours de Blosville et plus tard d'Emondeville, dans le département de la Manche (près Sainte-Mère-Église, à dix lieues de Cherbourg).

Le marché pour la fourniture de la pouzzolane artificielle calcaire livrée par M. Rousseau a été seul renouvelé, et continué à peu près jusqu'en 1843.

Dans la campagne de 1841, la ligne des caisses de défense des fonda- Travaux de 1841.
tions fut prolongée à la branche Ouest sur 200 mètres de longueur; Planche 3, fig. 3 et 4.
la première couche en béton fut faite sur 251 mètres, partant du bout Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4
de la partie arasée l'année précédente, et arrivant jusqu'à l'extrémité des caisses. La première assise fut prolongée sur 294 mètres, et la deuxième sur 228 mètres.

A l'entrée de l'hiver, il restait une grande longueur où les fondations consistaient dans une simple couche de béton d'environ 1 mètre d'épaisseur, insuffisante pour résister à l'action des lames et aux souspressions. Aussi dans les coups de vent des mois d'octobre et de no-

vembre, qui furent nombreux et violents, cette croûte de béton fut entamée et percée sur un grand nombre de points. Les avaries éprouvées par cette partie des ouvrages et par le reste des murailles furent évaluées à 80,000 francs.

Emploi pour les transports par mer des pierres de granit, taillées pour parements, des chalands à bignes et à treuils. Planche 11, fig. 4, 5, 6.

On modifia cette année le mode de transport des pierres de granit taillées.

Jusqu'alors ces matériaux, taillés dans les chantiers de l'arsenal, avaient été apportés à la digue dans les barques à voiles; mais ce système présentait des inconvénients.

Pour les assises inférieures, il fallut débarquer les pierres à marée haute et à flot sur les points où elles devaient être employées, et les bateaux risquaient d'échouer involontairement et de faire des avaries aux maçonneries en exécution, et encore toutes fraîches.

Pour les assises supérieures, on accostait le bateau contre le parement Sud de la muraille, et on le déchargeait ensuite à grand renfort de bras. Il fallait même souvent interrompre l'opération lorsque le navire échouait à mer baissante et gisait du côté de la rade.

C'était encore pis aux assises intermédiaires, car les bateaux devaient accoster à mer haute et échouer près du parement, pendant que les assises étaient encore submergées, et il arrivait fréquemment que des pierres de taille déjà posées se trouvaient dérangées.

L'échouage des barques chargées de pierres de taille sur des points quelconques de la risberme Sud, dont le sol était formé de blocailles mal nivelées, était une cause de prompte détérioration.

D'ailleurs les barques affectées à ce service se trouvaient détournées des autres transports.

Planche 11, fig. 4, 5, 6.

Le moyen qu'on employa pour y suppléer fut d'opérer les transports des pierres taillées dans des chalands semblables à ceux à mortier, auxquels on ajouta les apparaux nécessaires pour l'embarquement et le débarquement des lourds fardeaux.

Ces chalands à fond plat, à muraille droite, d'un faible tirant d'eau,

et d'une capacité moindre que les barques, n'avaient aucun des inconvénients détaillés ci-dessus.

Leur structure solide et les trois quilles longitudinales qu'ils portaient sous leur fond, le long des deux rives et dans l'axe, leur permettaient d'échouer sur tous les points de la risberme Sud avec de moindres risques que des bâtiments façonnés. Il suffisait, pour les approprier à leur nouvelle destination, de leur appliquer un appareil convenable pour le levage des pierres.

L'appareil fut formé d'une fourche dont les pieds reposaient sur le fond du chaland, aux deux extrémités de la longueur de la cale, et dont le sommet, correspondant au milieu de l'écoutille, fournissait un point d'attache pour les apparaux de soulèvement. Deux haubans de chaque bord retenaient le haut de la fourche et fortifiaient les montants. Des palans permettaient d'allonger les haubans à volonté, et d'incliner la fourche d'un côté ou de l'autre du chaland, par un mouvement de rotation autour du pied des montants, lorsqu'il s'agissait de décharger les pierres sur une plate-forme un peu écartée du bord. Enfin un treuil à engrenage, fixé par deux bittes sur le pont, en arrière de la cale, et des caliornes de diverses forces, complétaient l'installation de cet appareil, qui offrait toutes les commodités désirables, et qui a été employé presque exclusivement, à partir de 1841, pour tous les mouvements des pierres taillées.

Le nombre des chalands ainsi organisés était de quatre à cinq, pour tous les besoins du service de la digue. En cas d'insuffisance, pour cause de réparations ou pour tout autre motif, on recourait aux barques à voiles, comme précédemment.

Les chalands construits spécialement pour cette destination ont été faits sur le même devis à peu près que ceux à mortier, dont ils ne diffèrent que par l'addition de bittes en chêne placées vers l'arrière pour le treuil, et par des modifications de peu d'importance apportées dans la disposition de la cale, pour faciliter l'arrimage de la charge.

Emploi des chalands à mortier pour les transports par mer des moellons pour maçonneries et même pour enrochements sous-marins. Planche 11, fig. 4, 5, 6.

On fit aussi usage des chalands à mortier, mais sans rien changer à leur installation ni à leur gréement, pour l'approvisionnement du moellon destiné à la construction des assises intermédiaires.

Les bateaux à voiles ayant l'inconvénient d'occasionner fréquemment des avaries au parement Sud, en accostant la muraille lorsque les assises étaient encore couvertes par la mer, on trouva plus avantageux de se servir de chalands pour cette destination.

Lorsque les moellons provenaient du Becquet et étaient apportés près de la digue par les barques à voiles, les chalands ne servaient, pour ainsi dire, que de ponts volants à flot pour le transbordement entre le bateau et la muraille. Mais lorsque les carrières de l'arrière-bassin purent donner des moellons propres aux maçonneries, on en fit embarquer directement à l'arsenal, dans les chalands, pour les assises intermédiaires.

Les chalands et les barques à voiles concoururent ainsi simultanément à l'approvisionnement des matériaux pour les maçonneries; les premiers étant affectés principalement au transport des pierres de taille pour les parements, et des moellons pour les assises intermédiaires, et les seconds au transport des moellons pour les assises supérieures.

Les assises basses, depuis la couche de fondation jusqu'à la deuxième inclusivement, formant ensemble une hauteur de $2^m,80$, étaient faites avec du béton qui était apporté à la digue dans les chalands ordinaires.

Par suite de l'extension donnée à l'emploi des chalands, on passa un marché à quantité indéterminée, pour en faire confectionner de nouveaux.

On fit confectionner aussi quatre nouveaux bateaux à blocs, au prix de 22,000 francs l'un, non compris le gréement. L'augmentation du mobilier de la digue était motivé par l'impulsion nouvelle que les travaux devaient recevoir dans les années suivantes.

Un crédit spécial avait été demandé par le gouvernement, aux Chambres législatives, pour l'achèvement de la digue et du nouvel arsenal.

Depuis 1832, les dépenses de la digue, qui s'étaient élevées au maximum par an à 1,330,000 francs, et qui étaient habituellement de près d'un million par an, avaient été comprises dans les budgets ordinaires de la marine. M. Duparc et après lui M. Reibell, avaient toujours insisté pour qu'un crédit spécial fût mis à leur disposition, et pour avoir la faculté de porter la dépense chaque année au chiffre qu'exigeraient les circonstances imprévues des travaux à la mer, en faisant valoir des considérations d'économie sérieuses en faveur de cette mesure.

Il est certain, en effet, que la limitation des dépenses par exercice était une sujétion fâcheuse pour des travaux de cette nature, et que l'épuisement des fonds alloués pouvait forcer à interrompre brusquement les ouvrages, et à les laisser en souffrance dans des cas où l'état du temps et de la mer aurait permis encore de continuer la campagne avec avantage, et de mettre les choses dans une situation plus favorable pour résister aux coups de vent de l'hiver,

Crédit spécial de 18 millions affecté par la loi du 25 juin 1842, à l'achèvement des travaux de la digue en ce qui concernait la marine.

La loi du 25 juin 1841 accorda le crédit de 18 millions de francs demandés par le ministre pour l'achèvement de la digue, crédit qui était une moyenne prise entre les résultats de deux évaluations, l'une au maximum, et l'autre au minimum, faites par le directeur.

Les Chambres législatives se réservèrent toutefois la fixation annuelle de la portion du crédit qui serait allouée pour chaque exercice ultérieur, réserve qui laissait subsister en grande partie le principal inconvénient qu'il fallait éviter. Mais en fait les fonds accordés depuis cette époque ont été toujours réglés sur les demandes du ministre et les propositions du directeur, basées sur le maximum d'activité qu'il était possible d'imprimer aux travaux de la digue, d'après les ressources de la localité.

Le ministre et les Chambres législatives appréciant de la même

manière la haute importance nationale de l'établissement maritime de Cherbourg, et animés du désir de hâter autant que possible l'achèvement des ouvrages entrepris pour la défense de la rade contre la mer et contre l'ennemi, n'ont jamais hésité à accorder les fonds qui étaient demandés pour atteindre ce but.

Exhaussement final en 1842 de la muraille de la branche Est, y compris le parapet défensif vers le large.

L'accroissement d'importance des crédits annuels engagea à commencer en 1842 l'exhaussement définitif de la muraille de la branche Est, y compris le parapet définitif vers le large, pour avoir un nouveau chantier de taille de pierre, qui permît d'occuper un plus grand nombre d'ouvriers.

Il eût été inutile de différer plus longtemps l'exécution de ce travail, car les derniers nivellements avaient fait reconnaître que les premières portions de la muraille ne tassaient presque plus, et que l'affaissement des dernières diminuait d'année en année.

D'autres considérations portaient à terminer cette partie de la digue. On y trouvait l'avantage d'éviter des pertes de temps dans les cas où la mer, sans être très-agitée, ne permettait pas cependant de travailler aux assises inférieures de la branche Ouest, et où l'on pouvait néanmoins continuer les ouvrages en exécution sur des points situés au niveau des plus hautes mers.

L'exécution des assises de couronnement devait exiger beaucoup de temps, eu égard à la grande quantité de pierres taillées nécessaires pour les parements verticaux et pour le dallage supérieur; mais il était possible de s'en occuper en hiver, et l'on pourrait se dispenser ainsi de désorganiser les ateliers aux approches de la mauvaise saison, aussi complétement que par le passé.

Enfin, l'exhaussement jusqu'à la hauteur de la plate-forme de couronnement et la construction du parapet défensif procuraient un emplacement pour déposer du granit brut provenant *directement* des carrières à la mer, qui serait taillé à la digue même et sur lequel on économiserait les frais de transport par terre dans les chantiers de

l'arsenal, d'embarquement et de remorquage par mer de l'arsenal à la digue.

Corrections dans les parements des parties supérieures de la muraille, à raison des effets produits par les tassements inégaux. Planche 9, fig. 5 et 6.

Pendant les dix ans qui s'étaient écoulés depuis le commencement des travaux de maçonnerie, la muraille avait éprouvé, comme on l'a vu précédemment, des tassements considérables et inégaux, par suite desquels elle s'était affaissée verticalement et déversée du Nord au Sud d'une quantité variable d'un point à un autre de la longueur.

Le dessus de la dernière assise posée, qui du reste n'avait pas été établi partout au même niveau primitif, formait des ondulations très-prononcées.

L'alignement rectiligne se trouvait remplacé aussi par une série de courbures horizontales dont les protubérances correspondaient, du côté du large, aux points où la muraille s'était le moins déversée, et sur lesquels le profil avait éprouvé le moins d'altération; et du côté du Sud, au contraire, aux points où cette déformation avait atteint le maximum.

Les dénivellations verticales ont été faciles à corriger en superposant des assises de hauteurs variables, selon le tassement de chaque partie de la muraille, et même en changeant le nombre des assises quand cela a été nécessaire. On a racheté les différences de hauteur par des crossettes entre lesquelles le dessus de l'ancienne muraille a été dérasé par parties horizontales.

Mais il fallait éviter de faire monter jusqu'aux arêtes de couronnement les sinuosités *en plan* qui s'étaient produites dans l'alignement du mur, et on a adopté les dispositions suivantes pour corriger autant que possible ce défaut.

Une ligne droite, parallèle à la direction générale de la muraille, a été tracée tangentiellement au point de plus grande inflexion du parement Sud. Ces lignes, ainsi déterminées, ont été prises pour projections horizontales des arêtes de couronnement, et on a adopté, pour parements de la partie supérieure de la muraille, des surfaces gauches dé-

terminées par des lignes droites contenues dans des plans verticaux et appuyées, par le haut, sur les arêtes rectilignes et horizontales de couronnement, et par le bas, sur les couches ondulées [illegible]ueuses du dessus des anciennes maçonneries.

De cette manière, l'exhaussement présente un fruit variable. Il est vertical sur le point du parement Nord, qui correspond aux plus grands déversements, et aussi sur le point du parement Sud, qui correspond au contraire au déversement minimum; sur tout le reste il est compris entre zéro et un quart,

L'arête Sud de la plate-forme ou chemin de communication a été établie à 2 mètres au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe, c'est-à-dire à 9^{m},15 au-dessus du zéro du maréographe. Celle du couronnement extérieur du parapet a été portée à 10^{m},90 au-dessus du même point.

Le dessus de la plate-forme présente une pente transversale vers la rade de 13 centimètres pour une largeur totale de 6^{m},15. Le parapet a au contraire une inclinaison ou plongée vers le Nord, de 5 centimètres pour une largeur de 2^{m},50. Ces pentes suffisent pour faciliter l'écoulement de l'eau de mer à la surface du dallage.

Le parement Sud du parapet est vertical. Sa hauteur a été fixée à 1^{m},65, comme à une batterie de côte.

L'utilité du parapet, au point de vue de la défense militaire, est de couvrir les communications entre les divers forts de la digue, contre les vues d'un ennemi qui tiendrait la mer en dehors de la rade. On pourrait aussi établir au besoin sur la plate-forme de la digue, à l'abri du parapet, des pièces de côte pour défendre les approches de Cherbourg; mais cette artillerie serait exposée aux attaques par surprise qui pourraient être tentées facilement à l'aide d'embarcations armées, particulièrement du côté de la rade. Ces pièces seraient bouleversées et jetées sur la risberme Sud par les paquets de mer, dans les gros temps du large.

Sous le rapport de la résistance au choc des vagues, le parapet, en exhaussant de 1m,65 l'arête de couronnement, ajoute une grande garantie à la solidité de la digue, car la force des lames décroît très-rapidement, à mesure qu'elles s'élèvent au-dessus du niveau de la mer calme. Les chances d'avaries auxquelles l'assise de couronnement est exposée presque seule diminuent dans la même proportion.

Tant que l'arête supérieure ne sera pas endommagée, les vagues ne pourront pas entamer la muraille sur aucun autre point de la hauteur. L'assise de couronnement demandait donc une attention spéciale et l'application de toutes les mesures susceptibles d'augmenter sa résistance, et de prolonger sa durée. C'est pour cela que les ingénieurs portèrent à 0m,80 la dimension minimum des pierres de l'assise supérieure du parapet du côté du large. Le cube de chaque pierre de granit taillé est moyennement de plus de 1 mètre, et le poids de 3,000 kilogrammes.

Mode d'exécution du parapet defensif de la muraille vers le large, entrepris en 1842. Planche 3, fig. 3 et 4.

Indépendamment de la résistance qui résulte de ce poids considérable, et de l'adhérence des mortiers des joints, composés exclusivement de ciment et de sable, les pierres contiguës sont reliées par des dés en bronze, de 4 centimètres de grosseur et de 12 centimètres de largeur, scellés dans les pierres par le ciment de remplissage des joints.

Dans le cas où des dislocations ultérieures se produiraient dans les mortiers, ces dés retiendraient encore les pierres sur le parapet en les rattachant entre elles, et permettraient de faire les réparations nécessaires avant que les pierres de taille ne tombassent au Nord sur les blocs de défense et que les avaries ne prissent un caractère plus grave.

Mais ils ont été inutiles jusqu'à ce jour. Les parties les plus anciennement terminées n'ont pas éprouvé encore le moindre dommage, et il n'y a été fait d'autres travaux d'entretien que des rejointoiements extérieurs en ciment.

L'arête de couronnement Sud du parapet est composée de pierres à grandes dimensions horizontales, mais de 0m,50 seulement de hau-

teur. Ces tablettes, protégés par celles du large, n'exigeaient pas une épaisseur plus considérable.

La même observation s'applique à la bordure Sud vers la rade de la plate-forme ou chemin de communication.

Il eût été d'ailleurs trop coûteux et peut-être même impossible de se procurer des pierres de haut appareil pour la confection de ces trois longues lignes. Pour l'approvisionnement des matériaux nécessaires au couronnement du côté du large seulement, on a été forcé de recourir aux carrières des îles Chausey, près de Granville, malgré le prix plus élevé des matériaux provenant de cette origine, indépendamment des exploitations des carrières de Flamanville, sur la côte Ouest du département de la Manche, et de celles situées à l'Est de la baie de Cherbourg, qui ont fourni la plus grande partie des parements vus des murailles de la digue (¹).

Le parement Sud du parapet a été fait en petites pierres de taille de $0^m,35$ de hauteur moyenne, ce qui a permis d'utiliser une quantité considérable de matériaux qui encombraient les carrières et les chantiers de l'arsenal, et qui n'avaient pas cours dans les autres parties de la digue.

Mode d'exécution du dessus de la plate-forme ou chemin de communication du dessus de la muraille de la digue. Planche 5, fig. 3 et 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

On a fait différents essais pour le dallage de la plate-forme ou chemin de communication entre les sommiers ou pierres à angle rentrant du parapet et la tablette de la rive Sud.

On a commencé par employer des moellons du Becquet smillés, posés de champ, et garnis avec un coulis de mortier comme le cantelage exécuté sur le haut de la partie ancienne de la muraille. Des

(¹) Le granit des îles Chausey est d'un grain bleu et fin comme celui de *Diélette* et en blocs plus considérables que ceux de cette dernière origine, mais il se couvre à la longue de taches de rouille.

Le granit ordinaire de Fermanville et de la côte de l'Est est à gros gains, quartzeux et feldspathiques, et d'une couleur rosée; sa dureté est moindre que celle du granit de Diélette.

chaînes transversales de granit taillé, intercalées de distance en distance, partageaient la surface générale en compartiments d'une dizaine de mètres de longueur. Ce mode présentait des inconvénients qui ont été déjà signalés plus haut et était très-dispendieux.

On a essayé ensuite un recouvrement fait avec des pavés en pierres du Roule, posées à mortier sur forme de béton. Cette nature de matériaux était préférable à la précédente sous le rapport de la dureté, mais les ouvriers de la digue n'étant pas habitués à ce genre de travail, la main-d'œuvre était longue et le prix de revient considérable.

Ces deux systèmes avaient d'ailleurs l'inconvénient de multiplier considérablement les joints, en raison de la petitesse des matériaux, et, par conséquent, d'augmenter les difficultés et les dépenses probables d'entretien.

On fut conduit ainsi à adopter un dallage en granit qui ne coûtait pas plus cher que les précédents, qui offrait plus de garanties d'une bonne confection, dont la solidité ne devait laisser rien à désirer, et pour l'exécution duquel on trouverait des ouvriers exercés et des matériaux en telles quantités qu'il serait nécessaire.

On a employé à faire ce dallage de petites pierres de granit à taille brute, préparées avec des déchets à peu près impropres à toute autre destination.

Le dallage est établi sur une forme de béton de 25 centimètres d'épaisseur moyenne. Les joints sont remplis avec du mortier composé comme celui dont on s'est servi pour la pose des autres parements,

Ainsi, à l'exception de la petite longueur de la plate-forme, qui a été recouverte avec des moellons du Becquet ou avec des pavés du Roule sur la première partie de la branche de l'Est, et à l'exception aussi des premières assises du parement Sud de cette même portion de muraille qui avaient été faites en 1832 avec des moellons et des libages smillés, toutes les faces apparentes de la digue du côté du large, du côté de la rade, et par-dessus, sont revêtues en pierres de granit

qui impriment à cet ouvrage un aspect de force bien en harmonie avec sa destination.

Une grande partie des pierres employées à l'exhaussement définitif des murailles a été taillée à la digue même, principalement celles de sujétion à fruit variable et à deux parements qui forment les arêtes de couronnement des rives Nord et Sud. Ces matériaux, livrés bruts à la digue par les fournisseurs de granit, étaient débarqués sur le haut du mur à l'aide de fourches, de caliornes et de treuils. Le levage, pour la pose sur le parapet, s'opérait par un moyen analogue ou à l'aide d'une grue mobile sur des rouleaux.

Avant d'exécuter les assises de l'exhaussement, on mettait en place des canons d'amarrage définitif, espacés de 50 en 50 mètres sur la longueur de l'axe de la branche. On les entourait immédiatement d'un tasseau en maçonnerie pour assurer leur position et pour servir, pendant l'exécution des travaux complémentaires, de points d'amarrage aux chalands et aux barques à voiles qui apportaient des matériaux à proximité.

Ces canons ne paraissent pas devoir être d'une grande utilité dans l'avenir, car les navires n'ont pas occasion d'approcher de la digue et d'y prendre des points d'amarrage. Ils s'en tiennent même assez éloignés pour éviter de talonner ou d'échouer sur la risberme Sud, s'ils venaient à chasser par les vents de terre. D'ailleurs la hauteur absolue de la plate-forme est trop considérable, et les chaînes partant des canons et arrivant aux écubiers des navires auraient une inclinaison de haut en bas qui fatiguerait beaucoup les bâtiments, surtout à la marée basse. Dans le cas où des vaisseaux devraient être tenus au mouillage dans le voisinage de la digue, il n'est pas douteux qu'on préférerait aux canons des points d'amarrage pris, soit sur la partie inférieure du parement Sud de la muraille, soit même sur la risberme en moellons.

Dispositions habituelles pour l'accostage, l'é-

L'exécution des assises inférieures, depuis le plan de fondation jusqu'à la hauteur où les canons d'amarrage ont été établis, a nécessité

l'emploi de divers moyens pour accoster, mettre en place, échouer, ou tenir à flot les chalands et les bateaux dans les positions convenables.

chouage ou la tenue a flot du matériel flottant employé aux transports et opérations de la digue.
Planche 1.
Planche 3, fig. 3 et 4.
Planche 4, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

Premièrement, pour la partie basse, on frappait des bouts de cordages demi-usés sur les gros blocs de défense du Nord, et on attachait à l'extrémité libre de ces cordages un flotteur en bois. On obtenait ainsi des points toujours saisissables sur lesquels on portait, à l'aide d'un canot, les amarres des chalands chargés qu'il s'agissait de mettre en place à mer baissante pour l'exécution de la couche de fondation et des deux premières assises.

Secondement, dès que la muraille atteignait le niveau des pleines mers, c'est-à-dire la limite de hauteur des travaux de la seconde campagne, on encastrait dans l'assise supérieure quelques pierres de granit espacées à de grandes distances et portant une boucle en fer pour la tenue des amarres. Ces pierres à boucle étaient relevées et reportées plus loin, lorsqu'il fallait exhausser le mur pendant la campagne suivante. On plaçait quelquefois quelques-unes de ces boucles sur la deuxième assise ou à des hauteurs intermédiaires.

En troisième lieu, lorsque la construction atteignait, dans le cours de la troisième campagne, la hauteur de la onzième assise, à laquelle la muraille devait être provisoirement arrêtée pour laisser opérer les tassements, on plantait dans les maçonneries d'arasement des poteaux en bois placés environ à 20 mètres d'écartement les uns des autres. Ces poteaux d'amarrage étaient d'un grand secours jusqu'à l'achèvement de la muraille. On les recepait au point d'encastrement lorsqu'on exécutait les assises de couronnement.

Indépendamment de ces moyens d'amarrage organisés sur la digue et de ceux que présentaient au besoin les amas de pierres en dépôt sur les branches, des bouées étaient mouillées à peu près à une demi-encablure au Sud de la risberme et retenues chacune par deux ancres et de fortes chaînes en fer, en face des points où les travaux de chaque campagne devaient principalement avoir lieu.

Les chalands s'amarraient sur ces bouées aussitôt que le bateau à vapeur qui les avait amenés à la digue les abandonnait, et ils restaient à flot en attendant qu'on les fît accoster sur les points précis où les matières dont ils étaient chargés devaient être mises en œuvre. Ils reprenaient ces mêmes postes aussitôt qu'ils étaient vides, jusqu'à ce que le bateau à vapeur vînt les chercher,

La nécessité de faire stationner les chalands en rade pour les travaux de nuit et les dangers qu'ils couraient dans le cas où des vents de terre violents les surprenaient près de la digue, soit à flot sur les bouées, soit échoués près de la muraille, exigeaient que les mouillages d'où dépendait leur salut dans ces circonstances fussent très-solides et bien entretenus.

Le nombre des bouées ordinairement en service était de cinq ou six ; mais la Direction en possédait une quinzaine pour fournir aux rechanges qui étaient fréquemment nécessaires.

Près du fort central, à une distance un peu plus grande de la risberme, on avait mouillé, outre une bouée creuse comme les précédentes, une meule ou *tonne* en bois tenue par une chaîne et des ancres un peu plus fortes, pour servir à tous les navires, et particulièrement au bateau à vapeur de service lorsqu'il devait accoster la muraille pour l'embarquement et le débarquement des ouvriers, ou passer la uuit près de la digue.

Les mouvements des chalands le long des branches Est et Ouest de la digue et leur accostage sur les différents points étaient des opérations exécutées par l'équipage d'une embarcation armée à la digue, sous les ordres d'un patron spécial auquel les conducteurs donnaient chaque fois les indications particulières nécessaires pour que les matières fussent placées de la manière la plus convenable, et que les bardages à faire sur la muraille, entre le point de déchargement et le lieu d'emploi, fussent réduits au minimum.

Les équipages des chalands ordinaires dépendaient des ateliers à

terre dans l'arsenal; ceux des chalands à bigues faisaient partie du personnel de la digue. Les uns et les autres étaient occupés à la journée et devaient, outre leur service de mer, participer aux opérations de déchargement comme manœuvres. Il leur était alloué une demi-journée en sus pour chacune des marées de nuit auxquelles ils prenaient part, et on leur accordait en outre un huitième de journée pour leur coopération de nuit et en dehors des heures de la marée, à l'accostage de leurs chalands.

Pendant la campagne de 1842, les fondations de la muraille furent prolongées de 186 mètres, les tablettes-socles posées et arasées sur une longueur de 248 mètres, et les deux premières assises sur 272 mèt. Situation des travaux à la fin de 1842. Planche 3, fig. 3.

A la fin de cette année, la situation des maçonneries de la branche Ouest était comme suit : Planche 3, fig. 3 et 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

Caisses et béton d'arasement de la première couche des fondations, tablettes-socles, et 1re assise.	949	mètres de longueur.
2e assise.	787	*Id.*
3e et 4e assises.	757	*Id.*
5e, 6e, 7, 8e et 9e assises.	592	*Id.*
10e et 11e assises.	400	*Id.*

On s'était attaché avec raison à l'exhaussement des fondations prises précédemment plutôt qu'au prolongement sur une longueur trop considérable avec une épaisseur insuffisante. Le bétonnage avait partout 2 mètres d'épaisseur minimum, ce qui était assez pour prévenir le siphonnement. Il restait seulement à regretter que le temps n'eût pas permis de recouvrir dans toute sa longueur la première assise d'une deuxième, pour arrêter les blocs de défense qui pouvaient être poussés par les vagues sur les fondations.

Dans une tempête qui eut lieu dans le commencement de l'année suivante, plus d'*un millier* des blocs du Nord passèrent par-dessus cette partie de la muraille et furent jetés sur la risberme Sud. En traversant la zone du mur, ces blocs avaient arraché cent cinquante-

quatre pierres de taille et affouillé plus de 420 mètres cubes de béton. Ces avaries firent sentir la nécessité d'exhausser jusqu'à la hauteur du dessus de la deuxième assise les fondations que l'on entreprendrait désormais dans les campagnes ultérieures.

La hauteur de cette deuxième assise était, en effet, le point le plus convenable pour s'arrêter à la fin de la première campagne. Le mur se trouvait ainsi à la hauteur moyenne de la crête des blocs de défense répandus en amas sur le talus du Nord, à un niveau assez bas pour profiter de l'abri que procuraient ces blocs contre la houle et les vagues du dehors pendant et après l'exécution du travail, et assez haut cependant pour empêcher le passage des blocs du Nord au Sud, du moins dans les coups de vent d'une violence ordinaire.

Il eût été d'ailleurs inutile et même mauvais de s'élever plus haut que la deuxième assise, en restant au-dessous des hautes mers de vive-eau à la fin de la première campagne; car, à ces hauteurs intermédiaires, les blocs de défense n'auraient procuré aucune protection à la maçonnerie, qui se serait trouvée exposée à toute la force de la mer.

La tranche d'environ $4^{m},40$ d'épaisseur, comprise entre le dessus de la deuxième assise et le niveau des hautes mers d'équinoxe, qui correspondait au niveau où les vagues agissent avec le plus de violence contre les obstacles qu'elles rencontrent, demandait à être exécutée exclusivement dans le cours de la belle saison et faisait l'objet des travaux de la seconde campagne.

On ne pouvait s'en occuper avec quelque sécurité que pendant environ quatre mois, depuis la fin de mai jusqu'en septembre. L'expérience avait appris que la première partie du mois de mai amenait souvent des coups de vent de Nord-Est, qu'on eut soin de laisser passer avant de reprendre les travaux d'exhaussement dans l'exécution de la deuxième moitié de la branche de l'Ouest.

On commença à faire usage à la digue, en 1842, du ciment connu

sous le nom de Parker. Celui de Pouilly ne donnait pas des résultats très-satisfaisants.

Emploi des ciments anglais dits Parker et Medina, de la fabrication de MM. Francis et Sons de Londres.

Il était souvent éventé ou atteint de quelque autre vice qui en ralentissait la prise et énervait sa force de durcissement. Au lieu de renouveler les marchés de gré à gré passés avec le fournisseur de cette dernière matière, on tenta, en 1841, la passation d'un marché avec concurrence pour la fourniture de ciments analogues à ceux de Pouilly, Parker, Vassy et autres, *sans indication du lieu d'origine*, en exigeant seulement une vitesse de prise et une force de résistance déterminées.

L'adjudication eut lieu au prix de 119 fr. 80 le tonneau de 1,000 kilogrammes, pour une durée de huit années, au bénéfice des fournisseurs anglais de ciment Parker.

Depuis lors ce ciment a toujours été employé à la digue et n'a rien laissé à désirer sous les rapports de vitesse de prise, de la force et de l'inaltérabilité. Des rabais considérables ont été faits par les mêmes fournisseurs dans les marchés ultérieurs, et le prix est descendu jusqu'à 73 fr. le tonneau.

Ce ciment et celui dit *de Médina*, qui a été livré dans ces dernières années sur le même marché, et qui ne diffère du premier que par une couleur un peu plus claire et une force de cohésion supérieure, proviennent d'usines situées sur le littoral des îles anglaises, à une vingtaine de lieues de Cherbourg, et n'ont à subir qu'un court transport par mer avant d'être livrés à la réception et à la consommation, ce qui explique la préférence dont ils ont joui à Cherbourg, sous le double rapport du prix et de la qualité, sur les ciments d'origine nationale tirés de la partie centrale de la France.

Installations nouvelles dans l'arsenal pour la fabrication, par des moteurs à vapeur, des mortiers des-

Les procédés employés pour la fabrication des mortiers ordinaires dans l'arsenal étaient d'une lenteur incompatible avec le développement des travaux de la digue, qui devaient subir un nouvel accroissement par suite du crédit accordé par la loi de 1841. Les préparations

tinés à la digue, et pour l'embarquement des mortiers et bétons
Planche 10.

exigeaient l'emploi d'un grand nombre de bras, au moment où des ouvrages considérables étaient en cours d'exécution simultanément ou devaient être entrepris sur différents points de l'arsenal et de son enceinte fortifiée.

Le directeur mit à profit la circonstance qui se présentait de l'organisation des moyens d'épuisement et d'enlèvement des déblais de l'arrière-bassin pour améliorer cet état de choses. Il fit établir quatre tonneaux à mortier, qui reçurent le mouvement des machines à vapeur motrices installées pour faire marcher les pompes et les grues. Ces tonneaux ont été placés contre le bâtiment d'abri des machines.

Un grand hangar spécial a été construit à la suite pour emmagasiner les pouzzolanes et les ciments et pour faire subir à la chaux les préparations préalables à la confection des mortiers. Le système de ces tonneaux est celui qui avait été adopté au port de Toulon pour les travaux de la forme n° 2, mais sur de plus grandes dimensions, de manière à pouvoir faire donner à chacun un produit d'environ *dix* mètres cubes de mortier par heure. Le mouvement est transmis au pivot vertical qui porte les croisillons et les dents mobiles par des engrenages coniques dont les arbres sont menés facultativement par une quelconque des deux machines oscillantes, de 12 chevaux de force nominale, qui commandent tout le système. Ces appareils ont été exécutés par M. Cavé.

Monsieur l'ingénieur en chef Reynard, alors sous-directeur, a complété cette installation en y ajoutant un chemin de fer provisoire, qui a été établi entre les tonneaux à mortier placés vers le milieu du quai Est de l'arrière-bassin et les points d'embarquement les plus rapprochés sur les rives de l'avant-port. Des waggons à clapet, qu'on remplissait directement en les plaçant sous les dégorgeoirs des tonneaux, servaient à transporter le mortier sur ce chemin de fer.

Les moyens d'embarquement étaient organisés sur une amorce d'écluse qui existait au milieu du quai Ouest de l'avant-port. Deux ponts

en bois *à l'américaine*, jetés d'un bord à l'autre de cette écluse, sur lesquels on poussait les waggons pleins, servaient à charger directement, par des écoutilles, les chalands que l'on amenait au-dessous d'eux. Le chemin de fer encadrait cette petite crique d'embarquement à quelque distance du bord du quai.

Lorsque le mortier devait servir à la fabrication du béton pour la digue, on le versait entre le chemin de fer et l'écluse; lorsqu'il était au contraire destiné aux travaux de l'arsenal, on le déposait de l'autre côté du chemin de fer qui, était en relief d'environ 0m,80 au-dessus du sol.

La distance considérable et toujours croissante qui séparait déjà le fort central du point où les ouvrages étaient en exécution, à la branche de l'Ouest, suggéra l'idée d'utiliser le ponton à bascule de M. Daviel, décrit plus haut, comme magasin d'outils et lieu d'abri pour les ouvriers. On le conduisit à cet effet à la digue en 1842, et on l'échoua aux grandes marées d'équinoxe du printemps, pour toute la durée de la campagne, sur un tasseau de moellons du côté Sud de la digue, à l'extrémité de la dernière tranche de muraille qui se trouvait élevée au-dessus du niveau des hautes mers calmes.

On l'assujettit dans sa position en le chargeant d'un lest considérable en moellons après son échouage, et en ouvrant une buse de fond qui laissait pénétrer l'eau à marée haute de vive-eau pour l'empêcher de flotter. On le retint en outre par de fortes chaînes de fer tournées sur les poteaux d'amarrage. Ce ponton ne causait aucune gêne et ne risquait pas d'être emporté par la mer comme le hangar amovible dont on s'était servi autrefois sur la branche de l'Est. Les vagues n'ont jamais eu d'autre effet sur lui que de le pousser au Sud de 1 à 2 mètres au plus dans les plus violentes tempêtes; effet qui donne même une haute idée de la puissance de la mer, quand on considère toutes les précautions prises pour assurer l'immobilité de cette grande masse sur sa base.

Ce ponton était remis à flot et reconduit dans l'arsenal avant l'hiver. On le ramenait à la digue où on l'échouait de nouveau dans un emplacement plus éloigné du fort central, au commencement de la campagne suivante.

Effet extraordinaire et exceptionnel des vagues dans un coup de vent violent du Nord-Ouest sur la risberme Sud vers la rade, le long d'une tranche de fondations de la muraille de la branche Ouest.

Les tempêtes dans lesquelles les vagues étaient poussées contre la digue avec la plus grande violence, et qui étaient les plus dangereuses pour le bateau-bascule et pour la muraille, avaient lieu par les vents de Nord-Ouest, malgré leur courte durée, comme cela devait être en effet d'après l'exposition de la baie de Cherbourg et la configuration générale de la Manche.

On a remarqué, à la suite d'un de ces coups de vent, un effet, au *Sud des fondations* de la branche Ouest, qui n'avait pas encore été observé. Un affouillement de 150 mètres de longueur, de 10 à 12 mètres de largeur, et de 2 mètres de profondeur, s'était produit dans la *risberme Sud*, au pied de la muraille en exécution. Un autre fait semblable s'est encore manifesté plus tard, mais sur une moindre étendue.

Il n'en est résulté, heureusement, que l'inconvénient d'avoir eu à remblayer ensuite la risberme pour la rétablir à sa hauteur ; mais on put penser que des accidents de ce genre étaient peut-être susceptibles de prendre un caractère alarmant de gravité, si les coups de vent qui les ont produits eussent été plus violents et de plus longue durée.

Ces faits prouvent que la mer attaque avec plus d'énergie la branche de l'Ouest que celle de l'Est, au moins par les vents de Nord-Ouest, qui soulèvent les plus fortes vagues, et confirme l'opinion des marins pratiques de la localité, qui avaient annoncé que l'exécution des travaux serait plus difficile à l'Ouest qu'à l'Est du fort central. L'orientation particulière de la branche Est, qui se rapproche plus que l'autre de la direction du Nord-Ouest, et sa position entre le massif du fort central et le banc sous-marin extérieur de l'île Pelée qui l'abritent en partie, expliquent cette différence.

On a trouvé aussi que les courants avaient plus de vitesse à l'Ouest

qu'à l'Est, et qu'ils augmentaient d'intensité à mesure qu'on approchait des musoirs. Ils ont souvent contrarié l'échouage des chalands pour les travaux de fondation à exécuter pendant la nuit.

En préparant la base sous-marine de la tranche de muraille Ouest fondée en 1842, on avait remarqué que l'importance des versements en menus matériaux nécessaires pour élever l'enrochement à $0^m,70$ audessus du zéro avait augmenté progressivement de l'Est à l'Ouest, et que la risberme Sud allait toujours en s'élargissant vers l'intérieur de la rade.

Nouveaux sondages des enrochements sous-marins anciens de la branche Ouest de la digue, et changements dans l'alignement de la muraille. Planche 1.

Dans l'hiver de 1842 à 1843, on refit *un sondage* des enrochements sur le reste de la longueur de la branche Ouest et sur l'emplacement du musoir extrême, et l'on vit qu'en continuant l'alignement suivi jusqu'alors on aurait à subir la nécessité de versements considérables du côté du large, et que la muraille, dans une grande partie de la longueur, serait assise sur des enrochements complémentaires nouveaux, dont l'épaisseur moyenne serait de 2 à 3 mètres, et dépasserait même 4 mètres en quelques points dans l'emplacement des caisses.

On craignait qu'il n'en résultât deux effets également fâcheux, savoir:

Le siphonement à travers le béton par la sous-pression des vagues, qui paraissait plus dangereuse pour des versements récents que pour les enrochements anciens, tassés pendant longtemps par les coups de mer;

Et un tassement considérable et inégal dans les maçonneries en relief de chaque tranche annuelle de la muraille.

Mais ces deux inconvénients, surtout le premier, eussent été beaucoup atténués par la nature même des pierrailles qui provenaient, en majeure partie, des exploitations de l'arrière-bassin, et qui consistaient en un mélange de moellons et d'écalins, dont l'emploi à la mer, en enrochements, laissait moins de vides intérieurs que des moellons seuls; et par l'exposition au Nord, qui eût favorisé la compression et

le resserrement sous l'influence des vagues avant l'exécution des maçonneries

L'exemple des dernières tranches fondées en certains points sur des remblais récents de 2 mètres de hauteur, sans qu'il y ait eu plus de tassement qu'autre part, était assez rassurant à cet égard.

Mais le plus embarrassant de la situation était l'insuffisance des moyens de transport pour la formation des enrochements complémentaires. On trouvait qu'il fallait rapporter au moins 166,000 mètres cubes massifs, pour terminer la base sous-marine de la branche de l'Ouest et de son musoir, dans une période de quatre ans au plus, en raison du degré d'avancement des maçonneries.

La production des matériaux, dans les diverses carrières en exploitation, était restreinte à un chiffre inférieur à la moyenne annuelle qu'il eût fallu atteindre. On pouvait sans doute l'augmenter un peu, mais on se trouvait limité d'autre part par le nombre des bâtiments de transport.

Le nombre des bateaux des particuliers, qui était de trente-trois en 1839, avait toujours été en diminuant depuis la rectification des fausses jauges, et se trouvait réduit à dix, jaugeant ensemble 113 mètres cubes massifs. Ces dix bâtiments, augmentés des quatre barques à moellons de la Direction, ne pouvaient suffire à transporter une quantité aussi considérable d'enrochements et à fournir en même temps du moellon pour les travaux de maçonnerie. On avait cherché, l'année précédente, à attirer un plus grand nombre de bâtiments particuliers, en leur appliquant un tarif plus favorable, et en faisant appel au commerce dans les différents quartiers maritimes du voisinage; mais ces tentatives n'avaient pas produit encore de résultat.

Il était donc indispensable de modifier, sans retard, la direction suivie jusqu'alors dans la construction de la muraille, et de se reporter au Sud, de manière à diminuer le cube des versements.

Cette modification devait procurer en même temps de plus grandes facilités pour l'exécution des fondations.

La largeur toujours croissante de la risberme, vers le Sud ou l'intérieur de la rade augmentait considérablement la distance à parcourir pour transporter, *à marée basse*, le béton des chalands dans les assises inférieures, et il eût fallu se résigner à échouer les chalands sur cette risberme, sujétion qui aurait présenté le double inconvénient de faire perdre bien des marées propices, surtout pendant la nuit (à cause des difficultés de l'échouage dans des courants rapides et dans une mer un peu agitée), et d'exiger un matériel flottant plus considérable en service continu avec des risques d'avaries beaucoup plus graves.

Deux combinaisons principales pouvaient être adoptées.

La première était de dévier l'alignement de la branche, à partir du point où l'on était parvenu, en inclinant de 1 degré et demi vers le Sud la nouvelle direction à suivre.

La deuxième était de reporter de 15 mètres au Sud, vers l'intérieur de la rade et parallèlement à lui-même, l'alignement qui avait été suivi jusqu'alors, en raccordant convenablement les deux parties de la branche.

Cette dernière disposition était proposée préférablement à l'autre, parce qu'elle permettait d'asseoir sur des enrochements qui avaient atteint la hauteur nécessaire les maçonneries à entreprendre, dès l'ouverture de la campagne 1843, tandis que l'autre laissait subsister la condition de versements préalables assez importants.

La première fut néanmoins adoptée, et ce tracé paraît préférable aujourd'hui, sous le rapport de la régularité. Les tassements auraient été sans doute plus considérables dans l'hypothèse d'un reculement immédiat de 15 mètres au Sud, comme cela ressort des considérations exposées précédemment.

La déviation angulaire de l'alignement rétablissait le musoir extrême dans la position qui avait été primitivement assignée par M. Virla; mais la branche, ne se rapprochant que progressivement de cette po-

sition, profitait encore, dans toute sa longueur, de l'avantage d'avoir été portée au large et d'être établie sur une base plus ferme.

Pour activer les transports par mer des enrochements complémentaires, on adjoignit aux bateaux, à partir de 1843, des chalands armés pour cette destination. On y affecta particulièrement une douzaine de chalands qui avaient été construits à Saint-Servan pour le creusement du port, et qui étaient devenus inutiles dans cette localité, par suite de changement de projets.

Ces chalands furent amenés de Saint-Malo à Cherbourg par le bateau à vapeur *le Rapide*. Leur première destination n'exigeait pas la solidité nécessaire au transport des pierres dans la rade de Cherbourg; aussi il fallut les consolider avant de les mettre en service. On eut en outre toujours soin de ne les conduire en rade que par beau temps et de ne pas les y laisser stationner pendant la nuit. On évita également de les laisser échouer sur les risbermes en blocailles, surtout étant chargés.

Ces moyens de transport n'étant pas encore suffisants, on les augmenta, en affectant au même service un certain nombre de chalands ordinaires à mortier, dans toutes les circonstances où le ralentissement des travaux de maçonnerie le permettait, hiver comme été.

Les uns et les autres recevaient pour équipage un certain nombre de chalandiers qui étaient mis à tâche d'après tarif, lorsqu'ils étaient employés à ces transports spéciaux.

Le bateau à vapeur de service les remorquait à l'aller et au retour. Souvent même, il attendait à proximité que leur déchargement fût opéré.

Grâce à ces dispositions et à l'accroissement du nombre des bâtiments des particuliers attirés par la perspective de bénéfices plus considérables, résultant de l'application du nouveau tarif des transports, on réussit à pousser les enrochements complémentaires avec toute la vitesse nécessaire pour que les travaux de maçonnerie ne fussent pas retardés, comme on l'avait craint pendant quelque temps.

La campagne de 1843 fut bonne [1]. A la fin de cette année, les fondations avaient atteint la longueur de 1,139 mètres, avec les tablettes-socles et les deux premières assises remplies en béton sur toute cette longueur. Les 3me, 4me et 5me assises étaient prolongées sur 949 mètres; les 6me, 7me, 8me et 9me sur 840 mètres; la 10me sur 600 mètres, et la 11me sur 554 mètres. Situation des travaux à la fin de 1843. Planche 3, fig. 3 et 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

Dans le cours de cette année, M. l'ingénieur en chef Vicat signala les phénomènes de décomposition observés dans la Méditerranée sur des mortiers dans la composition desquels entrait de la pouzzolane artificielle, et il invita les ingénieurs de Cherbourg à entreprendre des essais pour reconnaître si les eaux de l'Océan exerçaient la même action. Action des eaux de la mer sur la décomposition des mortiers, bétons et ciments.

Les essais furent faits en employant d'abord la pouzzolane artificielle de Cherbourg, des fabriques de M. Paul Rousseau, composée de deux parties d'argile verdâtre, deux d'argile rouge ocreuse, et une de chaux grasse de Caumont, près Rouen. On trouva que les mortiers durcissaient bien, que l'eau de mer ne produisait aucune décomposition, et qu'elle n'exerçait qu'une action retardatrice dans la prise *qui avait été constatée depuis longtemps, surtout en hiver*. On remarqua seulement, comme dans tous les essais antérieurs, la formation

[1] Ce fut en 1843 que des raisons de santé forcèrent M. l'ingénieur Mahyer de renoncer au service de la digue et de la marine. La décoration de la Légion d'honneur lui fut accordée comme récompense de son dévouement pendant cinq ans, et comme témoignage de la haute satisfaction du département de la marine, de ses services distingués et tout à fait exceptionnels. Il fut remplacé à cette époque par M. l'ingénieur Bonnin, auteur de ces notes historiques, et qui a eu l'insigne honneur d'achever les travaux de la digue, dans la période de 1843 à 1853, et dans la portion la plus importante et la plus difficile, celle des deux musoirs extrêmes de la digue.

M. l'ingénieur Bonnin a reçu, sur la digue même, en 1850, la décoration de la Légion d'honneur, des mains de S. M. l'Empereur Napoléon III, alors Président de la République, et a été fait ingénieur ordinaire de première classe en 1854.

Paris, ce 14 janvier 1857. L'inspecteur général des travaux hydrauliques, REIBELL.

immédiate à la surface des échantillons d'une couche mince de laitance, au-dessous de laquelle le mortier se trouvait en bon état, et qui était plus abondante sur les composés les plus riches en chaux. Les résultats furent également négatifs avec de la pouzzolane d'argile blanche ou terre de pipe, sans mélange de chaux, préparée selon les indications de M. Vicat.

Le fait signalé par cet ingénieur parut une anomalie et n'ébranla en rien la sécurité avec laquelle on faisait usage des mortiers et des bétons employés depuis nombre d'années sur la digue et dans les autres points de la rade.

Ce n'est que bien plus tard et progressivement que l'on sut que les *chaux artificielles* pouvaient être aussi décomposées par l'eau de mer; qu'il en était de même pour un grand nombre de chaux naturelles, pour des ciments, pour des pouzzolanes volcaniques ; que les effets ne se produisaient sur certains mortiers qu'après *une immersion de plusieurs années* ; et que les eaux de l'Océan n'étaient guère plus privilégiées sous ce rapport que celles de la Méditerranée. Mais les ouvrages de la digue étaient fondés avant que l'énoncé de ces phénomènes de décomposition eût atteint sa généralité actuelle.

Aucun fait observé à Cherbourg n'inspira d'inquiétude sur la conservation à la mer des mortiers de chaux de Blosville ou d'Emondeville, avec lesquels les murailles de la digue sont bâties, surtout quand des parements inaltérables, en pierres ou autres matériaux, enveloppaient les maçonneries et empêchaient le contact des eaux de la mer.

La chaux d'Emondeville, qui provient des mêmes gisements que celle de Blosville et qui possède les mêmes propriétés et le même degré d'hydraulicité, est composée, d'après une analyse faite par M. Vicat en 1842, de silice, 11; alumine et fer, 6,67 ; magnésie, 3,93 ; chaux, 78,40. Son indice d'hydraulicité ne s'élève qu'à 0,27 en n'élaguant pas le fer, et à 0,23 en ne tenant compte que des principes hydraulisateurs. Elle n'est donc que faiblement hydraulique. Malgré cela

elle se comporte bien à la mer, du moins dans les eaux de la Manche, qui sont plus *froides* et moins chargées de sels que les eaux de l'Océan et de la Méditerranée ; et l'opinion des ingénieurs qui ont eu occasion de l'employer sur les différents points du littoral est encore aujourd'hui aussi favorable à son emploi qu'autrefois.

Le principal défaut de cette matière est de ne produire que des composés médiocrement durs, surtout lorsqu'ils sont immergés. Les massifs de maçonnerie ou de béton exposés directement à l'action des vagues, sans être protégés par une enveloppe plus résistante que l'intérieur, seraient détruits inévitablement au bout de quelques années, et si à l'action des vagues se joignait le choc ou le frottement de matériaux agités par les lames, la destruction se produirait en très-peu de temps.

C'est ainsi que les caisses de défense en béton posées devant la couche de fondation, au pied du parement Nord de la muraille Est, ont été brisées et détruites par les blocs naturels de défense jetés sur ces caisses. Elles résistaient bien pendant la première campagne et même pendant l'hiver suivant, tant que la crête des blocs naturels en restait écartée de quelques mètres au Nord.

Mais leur destruction s'effectuait rapidement à partir de la campagne suivante, aussitôt qu'on avait répandu les blocs de défense complémentaires de la zone supérieure de la risberme contre la muraille; à tel point qu'il serait peut-être impossible aujourd'hui de retrouver des traces d'aucune d'elles. Leur destruction n'a jamais inspiré d'inquiétude, parce qu'elles devenaient inutiles une fois que la couche de défense en blocs naturels était achevée jusqu'au parement du mur.

Malheureusement, après la démolition des caisses, le béton qui forme la première trauche horizontale de la muraille, et sur lequel reposent les tablettes-socles, se trouve exposé directement à l'action de la mer et au contact des blocs, sans être protégé par un revêtement de granit ou de toute autre matière plus dure que les mortiers.

Cette disposition est cause qu'il se produit des dégradations sur le devant de cette couche lorsque la mer est agitée et que les vagues bouleversent la partie supérieure des blocs de défense. Il en est résultéune érosion dans toute la longueur de la digue, sur une profondeur de 20 à 30 centimètres au-dessous du parement des tablettes-socles; en quelques points on a même trouvé des affouillements qui s'étendaient jusqu'à 1 et 2 mètres sous la muraille, mais sur de très-petites longueurs. Ces dégradations ont été réparées avec du mortier de ciment anglais.

On peut s'attendre à avoir, pendant quelques années encore, des rechaussements semblables à faire sur différents points de la branche de l'Ouest.

Le mal qui peut résulter de ces corrosions du béton ne peut avoir aucune conséquence grave, attendu que des pierrailles et des blocs naturels prennent la place du béton, qui disparaît sans laisser de vides sous le mur.

Cet effet ne peut se produire d'ailleurs que sur une zone étroite, tout le long de la rive Nord; il s'arrêtera nécessairement lorsque les blocs naturels de défense, engagés sous les tablettes, formeront à la couche de fondation une devanture à peu près fixe, maintenue en place par les blocs supérieurs de la superficie de la risberme Nord.

La crête de cette devanture appuyée contre la muraille atteindra, dans toute la longueur de la digue, la hauteur du dessus de la deuxième assise quand les rechargements complémentaires seront terminés.

Il est permis de supposer que l'action chimique de l'eau de mer n'est pas tout à fait étrangère à ces dégradations. Mais elle paraît s'exercer plutôt en ralentissant la prise des mortiers et en modérant leur durcissement qu'en les décomposant après prise. L'influence de cette cause a été constamment masquée par la puissance des effets dynamiques auxquels on a toujours attribué toutes les dégradations.

Quoi qu'il en soit, on doit regretter très-vivement que la première couche *n'ait pas été revêtue d'un parement de granit*, comme les autres

assises, et même qu'elle n'ait pas été faite entièrement, sur toute la largeur de la muraille, avec des blocs équarris posés jointivement et garnis en ciment, ou au moins avec de la maçonnerie de moellons ou du béton à mortier de ciment et de sable, sans *mélange de chaux*.

L'année 1844 fut traversée par une succession de coups de vent qui retardèrent beaucoup l'avancement des fondations et qui occasionnèrent de fortes avaries. Les dégâts se sont élevés à la somme de 19,344 francs pour la branche de l'Est, et à 90,000 francs pour celle de l'Ouest. Travaux en 1844. Planche 3, fig. 4. Planche 9, fig. 1, 2, 3, 4.

Il faut remarquer que ces chiffres ne se rapportent qu'aux avaries majeures, qui étaient seules l'objet de notes et d'évaluations spéciales, et qu'ils ne comprennent pas les dégradations de peu d'importance ni les délavages que les mortiers frais subissaient presque en tout temps à la surface des assises submersibles.

Dans les années ordinaires, le montant des pertes accusées sur les ouvrages en maçonnerie et sur le mobilier flottant ne s'élevait pas en moyenne au-dessus de la moitié des sommes ci-dessus; mais pour tenir compte de tout, on doit bien évaluer au *dixième* de la dépense qui a été appliquée à la confection des maçonneries la proportion moyenne des avaries de toute nature éprouvées par la digue depuis le commencement des travaux d'art en 1832 jusqu'à leur achèvement.

Le retard occasionné par les mauvais temps, en 1844, conduisit à continuer les travaux de fondation jusque dans le mois de novembre, pour ne pas laisser à une hauteur insuffisante, pendant l'hiver, une grande partie de la tranche de 254 mètres de longueur qui était entreprise. Malgré cela, on ne parvint pas à recouvrir entièrement ces 254 mètres de la deuxième assise, dont l'expérience avait si bien fait ressortir l'utilité dans les hivers précédents.

A défaut d'ouvriers pour entretenir l'effectif de la digue à six cents travailleurs à la fin de l'été, au moment où les besoins de l'agriculture et les autres travaux publics de toute nature, en exécution à Cherbourg,

réclamaient un grand nombre de bras, le directeur demanda l'envoi à la digue d'un détachement de marins, qui fut fourni par la division des équipages de ligne.

Sauf ce cas où l'on a eu besoin de secours étrangers à la direction, les renforts envoyés à la digue dans la belle saison, pour les grandes marées des vives-eaux où il était utile de pousser rapidement les travaux de fondation, étaient toujours fournis par les ateliers de manœuvres de l'arsenal, et particulièrement par ceux qui étaient attachés aux exploitations de l'arrière-bassin.

Une circonstance très-favorable au recrutement et au licenciement périodique du personnel de la digue était la facilité de tirer des campagnes voisines de Cherbourg deux à trois cents travailleurs, qu'on appelait au mois de mai pour tout l'été, et qui réclamaient d'eux-mêmes leur congé aux approches de l'arrière-saison.

Le licenciement des équipages, par suite du désarmement des bateaux, s'opérait également avec la plus grande facilité; les marins et les manœuvres embarqués pendant l'été trouvaient de l'occupation en hiver aux travaux de l'agriculture et à la petite pêche côtière.

Commencement d'exécution des ports définitifs à l'Ouest et à l'Est du fort central. Planche 1. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 6. Planche 9, fig. 9 et 9 *bis*, 10 et 10 *bis*.

On commença, en 1844, la construction du môle Sud du petit port définitif situé à l'Ouest du fort central. On avait déjà amorcé quelques années auparavant l'exécution de ce môle avant d'avoir concerté les projets du fort central avec le génie militaire, et l'on avait adopté une direction parallèle à celle de la branche. Elle dut être abandonnée après les conférences qui eurent lieu entre les services de la marine et de la guerre au sujet de ces ouvrages mixtes.

Les projets du fort central et de ses petits ports, remaniés par M. Virla, en 1838, furent produits par le directeur des travaux hydrauliques, dans les conférences mixtes ouvertes en 1841 avec le génie militaire. Les dispositions principales du projet étaient commandées par les ouvrages préexistants, et il n'y avait rien à y changer. Le directeur modifia seulement le tracé des petits ports auxquels M. Virla n'avait

pas attribué une étendue suffisante. La capacité en fut agrandie pour en permettre l'accès aux chalands et aux barques à pierres ou à une quinzaine d'embarcations dans les grands vents de Sud, qui sont, comme on l'a dit déjà, les plus fréquents à Cherbourg, et les plus dangereux dans le voisinage de la digue.

La direction des môles fut inclinée vers le centre du fort central, sur la demande du chef du génie, pour obtenir le flanquement du parement extérieur par la batterie casematée du réduit.

Dispositions définitives du fort central et de sa batterie d'enveloppe.

L'ensemble du fort central se compose de deux parties distinctes, un réduit et une batterie extérieure, séparés par une place d'armes.

Planche 1. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 6. Planche 8, fig. 2. Planche 9, fig. 7, 7 *bis* et 7 *ter*.

Le réduit, de forme elliptique, comporte deux étages de casemates et une batterie supérieure à barbette. Son soubassement, exécuté de 1811 à 1813 en maçonnerie hydraulique, a 68^m,25 de grand axe de l'Est à l'Ouest, et 37 mètres de petit axe du Nord au Sud, et est parementé en pierres de taille de granit, dans tout son pourtour, depuis le plan de fondation au niveau des plus basses mers.

Ce soubassement était élevé jusqu'à la hauteur moyenne de 0^m,50 au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe. Il avait été chargé, de 1813 à 1824, d'un massif de moellons d'un poids supérieur à celui des ouvrages complémentaires du fort, et avait éprouvé un tassement de 0^m,30 à l'extrémité Nord du petit axe, et de 1^m,50 à l'extrémité Sud sous l'action de cette surcharge.

On pouvait donc construire sans inquiétude les maçonneries en relief au-dessus de ces fondations.

La batterie d'enveloppe, située en avant du réduit du côté du large et du côté des branches, avait été exécutée en enrochements de blocs de 1803 à 1805. Attaquée constamment par les tempêtes, elle n'avait subsisté pendant l'Empire qu'à l'aide de réparations continuelles. Elle avait été ensuite abandonnée à elle-même jusqu'en 1824, époque à laquelle l'expédition d'Espagne et les éventualités de guerre maritime déterminèrent sa mise en état temporaire.

Elle avait reçu alors une forme géométrique définitive et une solidité nouvelle par la construction d'un mur de soutènement, bâti en maçonnerie hydraulique parementée en simples moellons du Roule sur tout son pourtour extérieur.

L'ensemble de ces dispositions, qui déterminaient complétement la forme définitive du fort central, résultait d'un arrêté consulaire du 15 octobre 1802, qui avait prescrit l'exécution de la batterie, et d'un décret impérial du 7 juillet 1811, qui avait ordonné celle du réduit.

Conformément à l'avis de la Commission mixte des travaux publics, en date du 18 avril 1842, il fut décidé que ce fort serait continué suivant les projets d'après lesquels il avait été commencé, sauf des modifications de détail dans l'organisation des parties qui ont une destination purement militaire, et qui sont du ressort du département de la guerre.

Cette décision permit d'entreprendre en 1845 un travail qui se présentait avec un véritable caractère d'urgence.

Le mur d'escarpe de la batterie d'enveloppe exécutée en 1824 et 1825 avait été construit en maçonnerie de moellons seulement et parementé de même. Ses fondations, assises sur les anciens enrochements, se trouvaient *élevées à* $3^m,80$ *au-dessus du zéro,* c'est-à-dire *au niveau des hautes mers de morte-eau.*

On avait cherché, à la vérité, à défendre ce mur, après sa confection, en plaçant au-devant de lui contre son parement, dans toute la partie qui était exposée au Nord, entre les chemins de communication provisoires de l'Est et de l'Ouest, une ceinture de blocs du Roule d'un gros volume qu'on avait entassés sur la risberme Nord, jusqu'à la hauteur du couronnement du parapet de la batterie, pour amortir le choc des vagues et garantir le pied contre les affouillements.

Mais la mer avait ruiné cette ceinture de blocs peu à peu. Elle avait aussi attaqué la risberme extérieure et abaissé progressivement le dessus de l'enrochement à tel point qu'en certaines places l'escarpe était déchaussée de près de $1^m,50$ en contre-bas du plan de fondation des maçonneries.

Des reprises en sous-œuvre, faites avec des mortiers énergiques, aussitôt après chaque tempête, et quelquefois même à basse mer pendant la durée des coups de vent, avaient réussi jusqu'alors à prévenir tout accident.

Mais en considérant l'abaissement progressif des remblais extérieurs et la difficulté de continuer plus longtemps l'application dispendieuse du même mode d'entretien, par des rempiétements de peu d'épaisseur qu'il fallait abaisser de plus en plus et refaire à chaque instant, on se décida à entreprendre, en 1845, le mur d'escarpe définitif.

On suppléait ainsi immédiatement, et par des ouvrages définitifs, à l'insuffisance du premier revêtement, qui n'avait que 3 mètres d'épaisseur à la base, qui était disloqué sur plusieurs points par l'effet des tassements inégaux, et qui ne présentait qu'une barrière précaire contre l'envahissement par la mer des terre-pleins intérieurs en remblais sur lesquels les logements des ouvriers et les magasins étaient établis.

Le nouveau mur d'escarpe fut fondé au niveau des basses mers de forte vive-eau, et parementé en pierres de taille de granit comme les autres parties de la digue.

On ne pouvait pas construire la nouvelle muraille exactement à la place de l'ancienne, car il eût fallu démolir celle-ci préalablement, et ouvrir ainsi une brèche par laquelle, dans un seul coup de vent, *la mer aurait pu emporter tous les établissements provisoires du fort central.*

On prit le parti de faire la nouvelle construction au pied même et *au-devant* de la vieille escarpe, de manière à envelopper celle-ci jointivement, sur tout son périmètre, par une maçonnerie de 4 mètres d'épaisseur en élargissement.

La seule difficulté était de creuser une fouille de 4 à 5 mètres de profondeur *au-devant* et au-dessous d'un mur mince et disloqué, dans un sol formé exclusivement de menues pierrailles, et sur une risberme exposée à toute la violence de la mer du côté du large.

Il était à craindre que le massif de pierrailles sans adhérence, qui

supportait le mur ne fût affouillé par les vagues lorsqu'il serait découvert et découpé verticalement sur 4 à 5 mètres de hauteur maximum pendant le temps nécessaire à l'exécution des déblais et des maçonneries.

Il y eut, en effet, dans le cours de l'exécution, à lutter plusieurs fois contre des affouillements de ce genre, qui inspirèrent même des appréhensions sérieuses, lorsqu'on vit se produire sur quelques points un *déversement sensible de la vieille muraille vers le Nord ou le large*. Toutefois, avec la précaution de n'entreprendre les fouilles et la construction des maçonneries définitives que par petites parties de 7 à 8 mètres de longueur au plus, de n'y travailler que pendant les mois les plus sûrs de la belle saison, et de pousser l'exécution de chaque partie avec toute l'activité possible, on réussit à conduire cet ouvrage à bonne fin, sans aucun accident.

Travaux de la batterie d'enveloppe définitive en 1845. Planche 1. Planche 2, fig. 1 et 2. Planche 6. Planche 8, fig. 2. Planche 9, fig 7, 7 *bis* et 7 *ter*.

La moitié Est de la partie extérieure de la batterie d'enveloppe fut rempiétée ainsi en 1845. L'autre moitié le fut de même l'année suivante jusqu'au-dessus de la hauteur des fondations de la vieille escarpe.

Le soutènement neuf n'a pas éprouvé de tassements sensibles ni d'autres accidents. On a remarqué seulement autour des joints des pierres de taille, à la hauteur de la crête de la risberme Nord, vers le large, un peu d'usure occasionnée par le frottement des petites pierres roulées, qui se trouvent accumulées sur cette partie de la base de la digue et dans les recoins Est et Ouest du fort central, par suite des travaux divers et des catastrophes nombreuses dont ce lieu avait été le théâtre antérieurement.

Ces amas de moellons, roulés dans tous les sens et charriés par les vagues de l'Est à l'Ouest du fort central ou inversement, selon la direction du vent, qui ont rongé un peu les parements en pierres de taille du mur extérieur de la batterie, ont produit le même effet sur les premières portions des branches elles-mêmes à la hauteur des assises inférieures.

Cet effet, qui n'a rien d'inquiétant, prendra fin lorsque la mer aura consommé tous les menus matériaux provenant de la démolition des chemins de communication provisoires, à droite et à gauche de la batterie d'enveloppe du fort central, et que le talus extérieur de la base du fort central, dont la crête s'abaisse constamment, et a maintenant atteint le niveau moyen des basses mers de morte-eau, sera recouvert d'une couche générale de blocs de défense naturels ou artificiels.

En creusant les fouilles de l'escarpe nouvelle dans la risberme Nord de la batterie, on a vu que le massif d'enrochement était parfaitement compact et ne présentait aucun vide. Le terrain, dans toute la hauteur où il a été fouillé, avait plutôt l'aspect d'un sol vierge que d'un remblai.

Ce fait témoigne des nombreux bouleversements éprouvés par la batterie centrale primitive, et apprend en outre que l'agitation des matériaux, qui se révèle par des déplacements après chaque coup de vent, est limitée à une couche mince superficielle sous laquelle la masse des enrochements reste immobile en s'engraissant des matières que la mer apporte et laisse déposer dans les interstices.

La campagne de 1845 a donné des résultats satisfaisants comme toutes celles qui l'ont suivie. Depuis cette époque, il n'est plus survenu de ces tempêtes extraordinaires qui avaient occasionné tant de désastres, et l'importance des avaries a diminué progressivement à mesure que les ouvrages, surtout ceux des parties inférieures de la muraille, approchaient de leur terme. Exécution des travaux en 1845.

Profitant des leçons de l'expérience, on n'entreprit désormais l'exécution des fondations du mur et l'exhaussement jusqu'au niveau des hautes mers de vive-eau qu'après avoir laissé passer non-seulement les coups de vent de l'équinoxe du printemps, mais même ceux qui éclataient fréquemment dans la première moitié du mois de mai.

L'on s'attacha à imprimer aux travaux toute l'activité imaginable pendant les quatre ou cinq mois de la belle saison, afin de clore la cam-

pagne avant les mauvais temps de l'automne, c'est-à-dire après avoir élevé jusqu'à la hauteur de la deuxième assise la tranche de muraille que l'on s'était proposé de faire dans l'année, et exhaussé jusqu'au niveau des pleines mers celle qui avait été entreprise l'année précédente.

Pour atteindre ces résultats, on ne craignit pas d'attaquer l'exécution de chaque assise sur de grandes longueurs pour augmenter l'étendue des chantiers, sans s'astreindre à cheminer avec les précautions que l'on est obligé de prendre quand la mer est mauvaise et que l'on est contraint de faire marcher à peu près de front un grand nombre d'assises superposées.

On supprima aussi quelques dispositions qui avaient été adoptées antérieurement pour prévenir des avaries en cours d'exécution, et qui n'ajoutaient rien à la solidité définitive. De ce nombre étaient le pavage en moellons de champ smillés, les chaines transversales de libages et celles en maçonnerie de ciment, qui entravaient l'avancement des ouvrages.

Il valait mieux exécuter hardiment les maçonneries dans la saison où les coups de vent du large étaient extrêmement rares et peu dangereux, que de s'arrêter à des précautions qui se trouvaient toujours insuffisantes pour prévenir les dégâts, et qui avaient pour conséquence inévitable de faire prolonger les travaux jusque dans l'arrière-saison, ou d'en faire traîner l'exécution en longueur pendant un plus grand nombre d'années.

L'expérience justifia complétement cette manière de voir, qui permit de réaliser des économies importantes, en temps et en argent, sur la quantité considérable de maçonneries qu'il restait encore à faire.

Le mode d'exécution par assises étalées sur de grandes longueurs, adopté avec plus ou moins de hardiesse dans l'exécution des murailles, était aussi le mieux approprié à la nature compressible de la base sous-marine en enrochements. Il évitait les dislocations qui se

seraient manifestées beaucoup plus fréquemment aux points de reprise des parties accessoires, si l'on eût procédé par tranches verticales d'une grande hauteur.

Il est bon de remarquer que cette facilité d'exécution par nappes horizontales tient à des causes locales qui dérivent de la position particulière de la baie de Cherbourg, et du gisement de la digue par rapport aux côtes voisines.

La baie, largement ouverte du côté du Nord, se trouve couverte par les terres depuis l'Est-Nord-Est jusqu'à l'Ouest-Nord-Ouest, en passant par le Sud, et est abritée, par conséquent, contre les vents régnants en été qui soufflent en général de l'Ouest ou du Sud-Ouest, et qui ne pouvaient occasionner que des dommages insignifiants aux maçonneries. Ces vents n'étaient dangereux dans leur plus grande violence que pour le mobilier flottant.

Situation des travaux à la fin de 1845. Planche 3, fig. 4. Planche 9, fig. 3 et 4. Planche 13.

Le résultat de la campagne de 1845 fut l'exécution de 300 mètres de fondation arrasée jusqu'au-dessus de la deuxième assise, indépendamment des travaux considérables en exhaussement sur d'autres parties de la branche de l'Ouest, au couronnement de la branche Est et au fort central.

En 1846, après avoir fondé avec le même succès les 140 derniers mètres de la branche Ouest jusqu'à l'origine du raccordement avec le soubassement du futur fort du musoir extrême Ouest, on entreprit ce raccordement, qui est tracé suivant une courbe concave du côté du large; et on fonda ensuite la moitié Est du soubassement circulaire du musoir, dont la forme, les dimensions et le système d'exécution venaient d'être arrêtés définitivement.

Dispositions et formes des musoirs extrêmes, l'un à l'extrémité Est de la branche Est de la digue, l'autre à l'extrémité Ouest

De longues études avaient été faites par les ingénieurs et par les officiers supérieurs de la Marine et de la Guerre, qui avaient été appelés à s'occuper des musoirs depuis l'origine des travaux. L'exposé suivant fera connaître l'historique sommaire de cette importante question.

de la branche Ouest. Planche 1. Dans le projet de M. de Cessart, suivant lequel la digue devait être formée d'une série de cônes tronqués en charpente, remplis de pierres et de maçonnerie, et élevés jusqu'au-dessus des plus hautes mers, il n'y avait pas à se préoccuper de musoirs spéciaux ni de l'établissement d'ouvrages particuliers pour la défense de la rade contre l'ennemi.

Mais ce projet n'avait reçu qu'un commencement d'exécution; il avait été, dès la seconde année, combiné avec un autre système qui avait bientôt prévalu exclusivement et qui consistait dans la formation d'une digue *continue* en enrochements. On dut alors porter une attention particulière sur les musoirs, car on sentit le besoin d'élever au-dessus de l'eau des plates-formes aux deux extrémités de la digue pour installer des vigies, après que la partie supérieure des cônes extrêmes eut été démolie par les vagues.

La Commission spéciale dont il a été déjà question, qui fut instituée en 1792, en vertu d'une délibération de l'Assemblée législative, pour examiner la situation de la digue et pour faire des propositions relatives à son perfectionnement et à tous les autres travaux maritimes ou défensifs que comportait l'établissement naval de Cherbourg, émit l'avis dans son rapport que des forts sur la digue seraient *sans utilité*, et ne proposa aucune disposition particulière pour les musoirs.

Elle invita seulement le Gouvernement à faire continuer les travaux d'exhaussement en blocs et à pierres sèches entrepris à l'extrémité de l'Est pour élever et entretenir cette partie au-dessus des hautes mers. Mais ces travaux, souvent bouleversés, ne purent réussir dans le mauvais système que l'on suivait pour leur exécution, et l'exhaussement fut bientôt détruit. Cette partie des ouvrages était d'ailleurs la seule à laquelle des crédits, même insignifiants, avaient pu être accordés dans la durée de cette période historique.

En l'an VII, un projet de musoir fut dressé par l'ingénieur de Lessan, qui proposa des dispositions remarquables par l'analogie qu'elles présentaient avec celles qu'on a adoptées depuis. Ce projet consistait

dans un massif elliptique, dont le grand axe mesurait 53 mètres, qui devait être élevé à 3 mètres au-dessus du niveau des plus hautes mers d'équinoxe, et enveloppé d'un mur vertical en maçonnerie de 4^m,80 d'épaisseur moyenne, parementé en pierres de taille de granit, et ayant son plan de fondation établi au niveau des marées basses de forte vive-eau.

L'intérieur du massif du musoir consistait en un remblai de pierrailles enveloppé par la muraille annulaire et recouvert, à la hauteur de la plate-forme, avec des libages équarris placés jointivement. Une estacade en charpente, de section triangulaire, remplie de blocs, aurait été établie autour de l'emplacement du mur, pour faciliter sa construction et le protéger provisoirement jusqu'après le durcissement des mortiers.

Ce projet bien conçu fut présenté par l'ingénieur Gayant et soumis par le Ministre à l'examen d'une Commission spéciale qui se posa d'abord cette question : La tête des digues sera-t-elle assurée par des ouvrages en maçonnerie, ou bien se contentera-t-on de l'élever en gros blocs, comme il était décidé que cela se pratiquerait pour les parties intermédiaires?

Après avoir résumé toutes les raisons pour et contre, la Commission spéciale fut d'avis que la solidité exigeait que les têtes des digues fussent assurées par des musoirs construits en maçonnerie. Mais dans une seconde séance, une discussion relative aux effets de la mer sur les talus en gros blocs, dans diverses positions, par rapport à la digue et par rapport au niveau des marées, amena quelques membres à croire à la stabilité des blocs dans *une position quelconque*, conformément à l'opinion de la Commission de 1792, et par conséquent à la possibilité de construire les têtes des musoirs dans ce mode, qui était considéré comme devant être plus économique que celui adopté dans la première séance.

Enfin, dans une troisième réunion, la Commission, sans rien préjuger sur les moyens qui devraient être employés ultérieurement pour couronner les extrémités des digues, adopta la proposition faite par

M. l'ingénieur Gayant, d'une expérience en grand du système d'ouvrages en gros blocs avec talus allongés, élevés jusqu'à la hauteur indiquée par la Commission de 1792.

Cette expérience devait se faire avec des blocs d'un *demi-mètre cube* au moins, entre le cône n° 2 et celui n° 4, et comporter divers degrés d'élévation pour comparer les effets de la mer à différentes hauteurs.

On voit par ce fait que la supériorité des ouvrages en maçonnerie sur les autres systèmes proposés pour l'achèvement de la digue n'était pas contestée à cette époque. On croyait seulement que des travaux de ce genre seraient beaucoup plus coûteux que le système des blocs à pierres sèches, qui prévalut exclusivement sous la direction de M. Cachin, jusqu'en 1823, et qui donna lieu à de grandes dépenses infructueuses.

La question des forts de la digue fut reprise en 1802, lorsque Napoléon, premier consul, porta ses vues sur Cherbourg, et reconnut la nécessité de mettre cette position à l'abri des attaques ou des insultes de l'ennemi.

Sur le rapport d'une Commission spéciale, il arrêta que les extrémités Est et Ouest de la digue seraient disposées pour recevoir chacune vingt pièces d'artillerie, après que la batterie centrale aurait été élevée.

M. Cachin, qui regardait la forme circulaire comme la plus avantageuse pour arrêter le cheminement des blocs qui devaient, suivant son système, recouvrir toute la surface supérieure de la digue jusqu'au sommet, adopta cette forme lorsqu'il fit jeter les premiers fondements des ouvrages définitifs de l'extrémité Ouest, en 1804 et 1805.

Il fit faire, sur ce point, des versements de petites pierres et de blocs qui atteignaient déjà la hauteur de 2 à 3 mètres au-dessus des marées basses de vive-eau, lorsqu'on fut forcé d'interrompre ce travail. On en apercevait encore les traces dans les mers basses d'équinoxe, lorsque M. Duparc présenta son projet en 1829.

Contrairement à l'opinion de son prédécesseur, M. Duparc rejeta la

forme circulaire pour les musoirs de la digue et proposa la ligne droite, sans aucune saillie vers le large sur l'alignement des branches. Cette forme lui paraissait préférable à toute autre pour la stabilité de la base en enrochements. Il faisait remarquer que la lame venant, après avoir prolongé la digue, à rencontrer un obstacle comme celui que présenterait l'enrochement saillant des musoirs, chercherait à le pousser devant elle; qu'elle porterait sous le vent les matériaux qui arrêteraient sa marche, et qu'il en résulterait des déplacements éminemment préjudiciables, soit à la conservation des ouvrages, soit à la sûreté des passes.

Suivant ce projet, le musoir consistait dans un demi-cercle de 24 mètres de rayon, tangent au parement extérieur de la muraille à l'extrémité de l'alignement Nord de la branche, et tangent aussi du côté de la rade à une muraille parallèle en saillie sur l'alignement Sud.

Cette disposition donnait aux têtes de la digue une largeur de 48 mètres en couronne, qui devait servir à l'organisation d'une batterie à chaque extrémité. La longueur totale de la batterie Ouest eût été de 114 mètres pour trente-sept bouches à feu, et celle de l'Est de 75 mètres pour vingt-trois pièces seulement. L'épaisseur des murs d'enveloppe était portée à 5 mètres du côté du large et à 4 mètres du côté de la rade, avec des contreforts à l'intérieur.

L'organisation de ces batteries devait être analogue à celle du centre, c'est-à-dire qu'elle consistait simplement dans un terre-plein, recouvert par un parapet dont la crête eût été établie à $6^m,35$ *au-dessus des plus hautes mers.*

Le système des fondations et le mode d'exécution de ces musoirs étaient les mêmes que pour les branches, tant en ce qui concernait les enrochements de base qu'en ce qui se rapportait aux murailles au-dessus du niveau des basses mers. M. Duparc indiquait, comme disposition essentielle, le maintien d'une large risberme du côté des passes, et comme disposition éventuelle, l'emploi de blocs artificiels de telle di-

mension qu'on le jugerait convenable, en avant de la partie circulaire du mur de revêtement extérieur du musoir, là seulement où la lame pourrait produire des effets dangereux sur les blocs naturels de défense.

La Commission d'examen des projets d'achèvement de la digue ne paraît pas avoir porté son attention sur la question des musoirs considérée sous le rapport défensif. Elle se borna à déclarer que le système applicable à l'exécution des branches l'était également à celle des musoirs, en faisant usage de quelques blocs artificiels, si le besoin s'en fait sentir.

La décision approbative du 11 avril 1832 arrêta seulement en principe la construction de forts aux extrémités de la digue, qui devaient être l'objet d'une dépêche ultérieure.

En 1835 il fut question d'entreprendre les travaux des forts des musoirs; mais le directeur fit remarquer qu'il n'avait encore été rien décidé sur la forme à donner à ces ouvrages, et réclama une décision à ce sujet, afin de pouvoir commencer les enrochements complémentaires, et se trouver en mesure d'exécuter les maçonneries dès que la muraille de la branche Est serait parvenue à son extrémité.

Il saisit cette occasion pour répéter que, dans son opinion, les musoirs ne devaient pas présenter, vers le large, des saillies qui seraient défectueuses au point de vue de la solidité, et inutiles sous le rapport de la défense militaire.

Une Commission spéciale, composée d'inspecteurs des ponts et chaussées et d'officiers supérieurs de différents corps de la marine, fut alors instituée à Paris pour déterminer la forme des forts et leur importance.

Après une longue discussion, elle posa en principe que les considérations défensives militaires, auxquelles on devait avoir égard, étaient de nature à l'emporter sur l'inconvénient que pourrait présenter, sous le rapport hydraulique, une saillie sur le parement extérieur de la digue, et proposa de construire sur le musoir Ouest un fort cir-

culaire de 40 mètres de rayon, présentant deux étages de feux, et armé d'au moins soixante pièce de gros calibre; et sur le musoir Est, un fort demi-circulaire dont le diamètre devait être formé par le prolongement de la branche et la saillie prise tout entière du côté de la rade.

Ce dernier fort devait recevoir trente pièces au moins et comporter, comme l'autre, deux étages de feux. Sa moindre importance était motivée par le peu d'éloignement des forts établis sur l'île Pelée et au centre de la digue, qui concouraient à la défense de la passe de l'Est; et la forme en était conçue de manière à conserver le flanquement extérieur de la branche Est de la digue par les batteries du premier de ces deux forts.

Ces combinaisons reçurent l'approbation du Ministre de la Marine, par décision du 3 septembre 1836, sur l'avis favorable du Conseil d'amirauté, et servirent de base à une étude détaillée qui fut faite par M. Virla en 1838 pour les forts des musoirs et pour celui du centre. Mais les projets de cet ingénieur ne reçurent pas de suite immédiate.

En 1840, une dépêche du Ministre de la Marine, provoquée par les événements politiques de cette année, réclama du directeur un rapport sur les études et les dispositions relatives aux ouvrages défensifs à élever sur la digue.

M. Reibell produisit alors les plans de M. Virla, en indiquant seulement la nécessité d'une modification qui avait pour objet l'agrandissement et l'amélioration des petits ports. Il fit remarquer que les soubassements en maçonnerie des forts des musoirs consistaient, suivant le projet, dans un simple mur annulaire avec remblais de blocaille au milieu, et non dans un massif général couvrant toute l'étendue du fort, comme cela avait été fait en 1811 pour le soubassement du réduit central.

Il donnait son assentiment à cette disposition qui lui paraissait motivée par l'économie, d'autant plus qu'un massif plein en maçonnerie n'aurait pas empêché des fractures qui devaient être la conséquence

de l'inégale compressibilité des enrochements anciens et nouveaux sur lesquels ces ouvrages devaient être établis.

Mais le Ministre de la Marine renvoya les projets de M. Virla, en annonçant qu'ils ne pouvaient recevoir son approbation, parce qu'ils n'avaient pas été concertés avec le département de la Guerre, et qu'ils ne devaient être considérés que comme un travail préliminaire bon à consulter pour la préparation des projets définitifs dans les conférences qu'il prescrivit d'ouvrir avec les officiers du génie militaire, par dépêche du 23 juin 1841.

Le directeur fit remarquer que la Marine renonçait ainsi à la faculté qu'elle avait possédée jusqu'alors de régler elle-même les tracés, la construction et l'armement des forts de la digue, en vertu des décrets impériaux qui avaient mis ces ouvrages en dehors des attributions du département de la Guerre. Mais le Ministre répondit que les dispositions législatives anciennes ne motivaient pas une dérogation à la règle générale tracée par l'ordonnance du 18 septembre 1816 sur les travaux mixtes.

Conférences mixtes à Cherbourg sur les dispositions et formes définitives des forts et des musoirs extrêmes de la digue. Planche 1.

Une Commission maritime locale fut alors instituée à Cherbourg, à la demande du directeur des travaux hydrauliques, et composée de ce chef de service, de celui de l'artillerie, et du major de la marine, pour étudier les dispositions qu'il y aurait à faire prévaloir dans l'intérêt de la Marine dans les conférences à ouvrir avec le génie militaire.

Le procès-verbal de cette Commission et celui des conférences mixtes, datés, le premier du 12 septembre 1841, et le second du 20 du même mois, embrassent la question générale de la défense de la rade. En ce qui se rapporte seulement à la forme des forts de la digue, on y trouve les propositions suivantes, sur lesquelles le directeur des travaux hydrauliques et le chef du génie étaient d'accord :

Faire concourir les deux départements ministériels à l'exécution des travaux défensifs de la digue, en attribuant à la Marine la construction des bases et des massifs de maçonnerie de soubassement jusqu'à

2 mètres au-dessus des plus hautes mers, comme cela avait été indiqué dans une dépêche du Ministre de la Marine, et pratiqué déjà pour le fort Boyard sur la rade de l'île d'Aix, et en laissant à la Guerre la construction des forts proprement dits à partir de ce niveau;

Adopter la forme circulaire, qui, au point de vue militaire, paraissait la plus convenable, parce qu'elle permettrait de battre également tous les points et donnerait des feux croisés à bonne distance du côté extérieur de la digue, et qui, au point de vue hydraulique, avait l'avantage de présenter une saillie vers le large utile pour empêcher les blocs de défense des enrochements des branches de cheminer vers les passes et d'y tomber dans les coups de vent du Nord-Ouest ou du Nord-Est;

Attribuer la même importance aux deux forts des musoirs, la différence qu'on avait faite entre eux ne paraissant pas suffisamment justifiée, surtout en ayant égard à la probabilité de l'établissement ultérieur d'un fort sur la roche Chavagnac, dans le milieu de la passe de l'Ouest;

Donner aux deux forts circulaires des musoirs 35 mètres de rayon; les organiser avec deux étages de feux: le premier dans des casemates, et le second à barbette.

Le Comité des fortifications ajouta un second étage de casemates sur le premier, tout en conservant la batterie barbette supérieure, afin qu'on pût combattre avec une plus forte artillerie les nombreuses bouches à feu des navires qui tenteraient de forcer l'entrée de la rade, *surtout pendant les fortes brises de vent.*

Ces propositions, avec l'addition d'une deuxième batterie casematée, furent adoptées conformément à l'avis émis par la Commission mixte, dans sa séance du 11 avril 1842.

Les projets de détail du fort de la roche Chavagnac, dont la Guerre avait demandé la construction et dont l'étude se rattachait à celle des musoirs de la digue, par l'analogie qui existait entre ces ouvrages, furent

présentés de concert par le directeur des travaux hydrauliques et par le chef du génie et approuvés par les Ministres de la Guerre et de la Marine, conformément à l'avis de la Commission mixte du 20 avril 1846. Les dispositions adoptées furent ensuite appliquées sans modification aux musoirs de la digue sur l'avis émis par la même Commission, à la date du 8 juin suivant.

Il avait été question de donner à ces forts une batterie d'enveloppe, ou au moins une contrescarpe en maçonnerie; mais cette proposition n'avait pas été accueillie, et la décision portait que le mur d'escarpe s'élèverait sans aucune retraite ni saillie, depuis l'enrochement de base jusqu'au couronnement.

Le nombre des casemates fut fixé à vingt-sept par étage. Le seuil des embrasures du rez-de-chaussée fut mis à 4 mètres au-dessus des hautes mers calmes d'équinoxe. Un parapet en terre de 4 mètres d'épaisseur fut adopté pour la batterie barbette. Des casernes circulaires projetées au centre des forts sur les remblais de la cour furent supprimées. Enfin tous les détails de construction des forts se trouvèrent définitivement arrêtés, ainsi que le système d'exécution de la base sous-marine de ces forts, qui mérite une mention spéciale.

On a vu précédemment que la Commission d'examen des projets présentés pour l'achèvement de la digue avait émis l'avis en 1832 : que le système mixte d'enrochements recouverts d'une couche de gros blocs du côté du large pour la partie inférieure au niveau moyen des basses mers, et de maçonnerie ordinaire avec mortier hydraulique et parement extérieur en pierres de taille pour la partie supérieure à ce niveau, serait applicable à la construction des musoirs de la digue aussi bien qu'à celle des branches, en faisant usage de quelques blocs artificiels pour consolider les parties du massif de base de ces musoirs où l'expérience ferait sentir la nécessité de l'emploi de ce moyen accessoire.

Ouvrages de défense en blocs factices

Le programme tracé ainsi *à grands points* pour le mode de construction des musoirs était excellent, et a dû être fidèlement suivi.

Tous les faits observés pendant la période de quatorze ans, qui s'est écoulée entre l'approbation du projet d'achèvement de la digue et le commencement de l'exécution des maçonneries des musoirs, ont justifié les prévisions de la Commission, en démontrant la possibilité d'appliquer le même système de construction aux musoirs qu'aux branches Est et Ouest, en même temps qu'ils ont mis en évidence la nécessité absolue de l'emploi des blocs *factices* d'un grand poids, comme moyen de consolidation pour les talus de ces musoirs vers le large et vers les passes.

pour les enrochements sous-marins des soubassements des musoirs extrêmes, vers le large et les passes Est et Ouest.
Planche 1
Planche 5, fig. 1.
Planche 7.
Planche 8, fig. 1.

La mobilité des blocs naturels de défense placés à la superficie des talus extérieurs de la digue s'était manifestée dans tous les coups de vent du large. On avait pu constater, après chaque tempête, qu'une partie considérable de ces blocs étaient bouleversés et retournés sens dessus dessous. Ils étaient lancés par les vagues contre la muraille, et un certain nombre d'entre eux passaient même du Nord au Sud, pardessus les assises du mur, sur des points où la construction était encore inachevée, mais où l'exhaussement surpassait le *niveau des pleines mers calmes*.

Il n'était donc pas surprenant que la consolidation de la base des musoirs exigeât des blocs artificiels comme moyen de protection supplémentaire. Ce qui surprend, au premier aperçu, c'est, au contraire, que la stabilité des branches ne fût pas compromise par les bouleversements de la couche de blocs naturels qui forme la défense de la base vers le large.

On peut se rendre compte de la solidité et de la force de résistance de ces ouvrages, démontrées maintenant par une épreuve de *vingt-quatre ans* de durée, par les considérations suivantes:

Le passage des blocs du Nord au Sud avait lieu seulement sur des points où la muraille était encore incomplète, et a cessé tout à fait aussitôt que les assises de couronnement ont été posées.

Les effets de projection des blocs contre la muraille s'étaient trouvés

notablement diminués par la construction de la branche supérieure du mur qui a complété l'obstacle opposé à la propagation des lames du Nord au Sud, et qui a brisé ainsi la force horizontale des vagues dont l'action sur les blocs était la plus dangereuse.

D'autre part, le déplacement des blocs dans le sens de la longueur des branches, c'est-à-dire le cheminement vers l'Est par les vents de Nord-Ouest et vers l'Ouest par les vents de Nord-Est, effet encore plus à craindre que le transport du Nord au Sud, et qui aurait pu être aggravé par l'exhaussement de la muraille, ne s'est pas manifesté.

Une compensation parfaite s'est établie dans le résultat final de l'action de ces deux espèces de vents qui peuvent bien, à la vérité, produire chacun en particulier des déplacements partiels et superficiels dans des limites très-restreintes, mais qui, en fin de compte, ramènent les blocs à leur place initiale, sous l'influence des forces égales et contraires qu'ils engendrent alternativement.

Mais les dispositions suivant lesquelles sont établis les ouvrages des branches et auxquelles est due leur stabilité ne se reproduisent pas aux musoirs.

Que l'on considère le musoir de l'Ouest, par exemple, et que l'on suppose sa base recouverte de blocs naturels seulement, et soumise ainsi à l'action des vagues pendant un coup de vent de Nord-Est ; toute la surperficie de la risberme et des talus du côté du large, et même du côté de la passe, serait attaquée par des lames qui se propageraient librement autour des musoirs sans se briser contre des murailles, et qui entraîneraient les blocs avec elles dans leur mouvement.

La répétition des mêmes causes produirait des effets qui s'ajouteraient toujours les uns aux autres, de sorte qu'après un certain nombre de tempêtes tous les blocs de défense du large seraient jetés au Sud ou vers la passe. Le fort du musoir serait alors exposé à une ruine imminente, qu'on ne pourrait conjurer que par des rechargements de blocs nouveaux.

Des effets analogues se seraient produits au musoir de l'Est avec les vents de Nord-Ouest.

Il était évidemment impossible de s'en tenir à un système qui n'eût donné qu'une stabilité aussi précaire, et qui aurait occasionné des dépenses infinies et des soins incessants d'entretien.

Les musoirs de la digue, avec leurs forts casematés à trois étages de feux, devaient être établis tout d'abord dans des conditions telles que leur existence ne pût se trouver compromise, si jamais l'entretien de l'enrochement se trouvait négligé forcément ou par oubli pendant trop longtemps.

Aussi, M. Reibell avait toujours insisté sur la nécessité absolue des blocs artificiels de grand volume, comme moyen de défense pour les enrochements de base aux deux extrémités de la digue.

Dans le rapport précité, du 12 septembre 1841, relatif aux ouvrages défensifs de la digue, il avait exprimé formellement l'avis que la condition la plus essentielle à la stabilité des fondations des musoirs était de donner à leur base, vers le dehors, et surtout vers les passes, de larges empattements recouverts de blocs artificiels *non amovibles*, pour rendre en quelque sorte les fondations indépendantes des secousses, vibrations et mouvements intérieurs que les enrochements éprouvent pendant les gros temps dans leurs divers talus et jusque dans leurs parties intérieures.

M. Virla, qui avait dressé, en 1838, les premiers projets de détail pour la construction des forts, ne s'était pas préoccupé de la mobilité des enrochements des musoirs. Il supposait probablement que les blocs naturels de défense suffiraient. Ses projets ne comportent pour disposition spéciale qu'une simple file de caisses de béton construites sur la crête de la risberme, dans le prolongement de la direction de chaque branche, comme celles qui étaient employées au pied de la première couche de fondation des murailles. Cette file de blocs n'eût produit évidemment aucun effet utile.

Les deux ingénieurs ordinaires qui ont été chargés successivement du service de la digue, sous la direction de M. Reibell, ont été appelés à exposer aussi leur manière de voir sur la construction des musoirs et à en étudier les détails.

Dans une première note du 25 septembre 1841, M. l'ingénieur Mahyer exprimait l'opinion qu'il n'y aurait qu'à augmenter les dimensions de ce qui se pratiquait pour les deux branches, en ajoutant quelques précautions de plus dans l'exécution pour donner toute la solidité désirable à ces deux têtes d'ouvrages, qui sont nécessairement plus exposées que les autres parties de la digue, soutenues à leurs extrémités.

Il proposait :

De porter à 25 ou 30 mètres cubes, au lieu de 6, le cube des caisses de béton qui protégent la fondation du côté du Nord;

De recouvrir toute la largeur de la risberme vers le large, vers la passe, et jusqu'à une certaine distance vers la rade, avec des caisses semblables;

De mettre, pour garantir les talus vers le large et vers les passes, des blocs factices en béton de trente tonneaux de poids dans l'air, à la place des blocs du Roule et du Becquet, dont le poids à l'air va rarement à quatre tonneaux et qui, moyennement, ne pèsent guère plus de 1,500 kilogrammes;

D'employer ces blocs factices jusqu'à 45 mètres] en avant de la muraille;

Et de garnir tout le reste des talus jusqu'au pied de l'enrochement avec des blocs ordinaires du Roule et du Becquet.

Dans une deuxième note de mars 1842, il établissaitu ne comparaison entre différents systèmes de fondations suivant lesquels les blocs artificiels auraient été employés, pour une part plus ou moins grande, à la formation de tout ou partie des massifs d'enrochements qui restaient à faire du côté du large et du côté de la rade, pour compléter les bases sous-marines des musoirs.

La conclusion de cette note n'était pas formulée explicitement; mais elle tendait à l'exclusion des blocs factices pour la formation des massifs intérieurs d'enrochements et à l'adoption du système qui consistait à faire tous les remblais complémentaires avec des moellons et de la blocaille jusqu'à la hauteur des fortes basses mers de vive-eau, comme pour les branches de la digue.

Les risbermes seulement vers le Nord, vers la passe et même à une certaine distance vers la rade, pour prévenir les affouillements occasionnés par les vagues élongeant le contour circulaire des musoirs, auraient été garnies de blocs de béton de 27 mètres cubes, fabriqués sur place au moyen de caisses à fond de toile. Ces blocs, rangés sur trois lignes circulaires, auraient laissé entre eux des cases remplies de blocs naturels.

Sur les dessus des deux lignes les plus avancées vers le large, on devait fabriquer, sur des plans inclinés, des blocs de 10 mètres cubes et les lancer à la mer après leur durcissement, pour former la première ligne de défense au-dessous du point zéro. Plus bas on n'eût employé que des blocs naturels.

Dans une apostille à cette note, le directeur se prononça en faveur de l'emploi des petites pierres dans la composition des massifs de base des musoirs, par les considérations suivantes :

1° Nécessité d'exporter et employer en rade les moellons et les blocailles provenant des exploitations de l'arrière-bassin, du Roule et du Becquet ;

2° Dépense partielle qu'il faudrait faire pour organiser à Cherbourg le système nouveau de fabrication et de transport si l'on employait les blocs factices à la formation d'une partie du massif d'enrochement de base ;

3° Moindre temps de travail, chances plus grandes d'interruption avec les blocs artificiels ;

4° Moindres garanties de stabilité pour les forts par suite d'une ac-

tion de la mer sur les blocs de béton, analogue à celle qui avait produit de si fâcheux effets aux fondations des musoirs de l'avant-port de l'arsenal.

Cette dernière considération présente un intérêt particulier. Elle fait voir qu'en mars 1842, M. Reibell n'avait pas foi dans la stabilité des bétons exposés à nu à l'action de la mer, bien que les faits relatifs à la décomposition chimique des mortiers sous-marins fussent encore inconnus à cette époque.

Suivant son opinion, on devait faire usage des blocs artificiels à Cherbourg pour *recouvrir* et défendre les *massifs* de base des forts fondés à la mer, avec des enrochements ordinaires de blocaille ; mais c'est à cela que devait se borner le rôle de ces blocs, et il ne convenait pas, selon lui, d'en faire usage pour *composer* les massifs sous-marins d'ouvrages aussi importants.

Les mêmes idées se trouvent exposées dans un rapport présenté par M. Reibell, le 23 juillet 1845, au conseil d'administration sur les diverses questions à résoudre relativement au fort projeté sur la roche Chavagnac et à la digue dite de Querqueville. On dit dans ce rapport :

« Il paraît indispensable d'avoir, comme à la digue, au niveau des « basses mers, sur tout le périmètre extérieur des ouvrages en relief du « fort, une risberme horizontale d'au moins dix mètres de largeur, « inattaquable par les courants et surtout par les vagues dans les gros « temps.....

« Vers le large, deux systèmes de construction différents se présen- « tent. Dans le premier, la risberme en blocailles serait suivie d'un « talus d'environ dix pour un, qui descendrait jusqu'à 5 mètres au- « dessous des basses mers d'équinoxe, lequel, à son tour, serait suivi « d'un talus à quarante-cinq degrés jusqu'au fond de la mer.

« La risberme et le premier talus ci-dessus seraient recouverts « d'une première couche de blocs bruts, du poids variable dans « l'air de 500 à 4,000 kilogrammes, et dans l'eau de mer de 265 à

« 2,150 kilogrammes, et d'une couche superficielle en blocs artificiels « de béton hydraulique du volume de 15 mètres cubes, ou du poids, « dans l'air, de trente-trois tonneaux de 1,000 kilogrammes, et dans « l'eau de mer de quinze tonneaux.

« Cette couche superficielle a pour objet de prévenir toute action « des vagues dans les gros temps sur la deuxième couche en blocs « naturels et d'y opposer des masses qu'elles ne puissent pas mettre « en mouvement.

« Ce premier système est celui qui sera suivi pour les musoirs ex- « trêmes de la digue.

« Dans le deuxième système de construction, la risberme vers le « large serait exécutée entièrement depuis le fond de la mer, comme « aux môles d'Alger, avec des blocs artificiels en béton de 15 mètres « cubes, et cette risberme serait suivie d'un talus unique à 45 degrés « jusqu'au fond de la mer, en blocs de même grosseur. »

La comparaison des dépenses présentait une économie considérable en faveur du second système pour la construction du fort Chavagnac; mais malgré cela le directeur était d'avis de préférer le premier, qui avait bien réussi dans les travaux de la digue. Il ajoutait :

« Le béton hydraulique, quelque énergique qu'il soit, n'équivaudra « jamais qu'à un calcaire de médiocre dureté. Ainsi, même s'il résis- « tait à l'action chimique dissolvante des sels magnésiens de l'eau de « mer, action signalée récemment par M. l'ingénieur Vicat, les blocs de « béton seraient à la longue émoussés, entamés sur toute leur surface, « et bientôt leur volume notamment diminué ne serait plus inamo- « vible à l'action des vagues. On a vu à la digue des blocs bruts de « granit et de grès du Roule (la plus dure, la plus pesante des pierres « après le basalte d'Auvergne), subir ces effets.

« Sans doute la couche superficielle en blocs artificiels qui entre « dans le premier système de construction éprouverait aussi ces effets. « Mais au-dessous resterait comme deuxième défense la couche de

« blocs naturels qui, étendue sur des talus allongés, préserverait long-
« temps encore le dessous en blocaille, et l'on aurait le temps de faire
« de nouveaux rechargements en blocs artificiels.

« Une dernière considération en faveur du premier système, c'est
« qu'il ouvrira un bien plus grand débouché que le second aux pro-
« duits des exploitations de l'arrière-bassin de flot au nouvel arsenal. »

Le Conseil d'administration du port, appelé à émettre un avis sur la question de savoir si le système de construction de la base artificielle du fort Chavagnac serait le même que celui indiqué ci-dessus pour les musoirs de la digue, ou s'il serait analogue à celui des môles d'Alger, a répondu à l'unanimité à cette question comme suit :

« Les résultats d'expériences obtenus pendant une longue série
« d'années dans les localités mêmes doivent être d'un bien plus grand
« poids que des faits observés dans des mers et des localités différentes.

« Ainsi, l'exemple des travaux de la rade d'Alger ne semble pas con-
« cluant pour ceux de la rade de Cherbourg.

« L'expérience n'a pas d'ailleurs prononcé à Alger même sur la durée
« des blocs artificiels de béton, et il paraîtrait bien imprudent à Cher-
« bourg de faire dépendre uniquement de ces blocs la conservation
« d'un ouvrage en relief aussi élevé, et d'un aussi grand poids que
« celui que recevra la roche Chavagnac.

« L'histoire de tous les temps a fait connaître d'ailleurs que chaque
« Etat a subi, pendant de longues périodes de temps, des crises politi-
« ques et des guerres ruineuses pendant lesquelles restaient dans le
« plus grand abandon les rades, les ports, les grandes voies de com-
« munication, etc...; enfin, tout ce qui fait la force et la richesse d'un
« pays.

« Il faut donc que la construction des grands ouvrages à la mer soit
« assez solide et assez durable pour qu'ils traversent une époque de
« misère publique sans être atteints par des dommages irréparables.

« Le Conseil, à l'unanimité, n'hésite donc pas à donner la préférence,

« pour les travaux à faire sur la roche Chavagnac, au système déjà suivi « et éprouvé à la grande digue de Cherbourg, sauf le recouvrement « par des blocs artificiels inamovibles, que le directeur des travaux « hydrauliques propose avec raison pour le demi-périmètre des ou- « vrages vers le large, et au moins sur une profondeur de 3 mètres en « contre-bas des basses mers d'équinoxe.

« Les blocs artificiels empêcheront les mouvements des blocs natu- « rels par les gros temps et leur descente dans les fonds. »

Le procès-verbal de conférences mixtes du 14 novembre 1845 fait connaître que le chef du génie partageait entièrement l'opinion du directeur des travaux hydrauliques, sur le système à adopter pour l'établissement de l'enrochement du fort Chavagnac. Il lui paraissait convenable de n'admettre les gros blocs artificiels en béton, dont on ne pouvait garantir ni la résistance, ni la durée à Cherbourg, que pour protéger du côté du large la surface du remblai en blocailles par leur poids et leur inamovibilité.

Le directeur des fortifications adopta cette manière de voir, en faisant remarquer que la grande étendue des risbermes permettrait toujours de réparer les avaries assez à temps pour qu'on n'ait rien à craindre de la mer à l'égard du fort proprement dit.

Le Conseil des travaux de la marine fut également d'avis d'appliquer à la base artificielle du fort Chavagnac le système de construction suivi avec succès à la digue de Cherbourg, système qui venait de réussir dans les travaux du fort Boyard. Seulement il demanda qu'on ne se bornât pas à revêtir en blocs artificiels inamovibles le demi-périmètre du côté du large, et qu'on étendît en outre ce revêtement du côté opposé jusqu'au môle du petit port d'échouage vers la rade.

Le Conseil d'Amirauté et le Comité des fortifications adhérèrent pleinement à l'opinion du Conseil des travaux de la Marine.

Il y avait donc unanimité de toutes parts sur le système à adopter dans la construction des bases sous-marines des forts de la rade.

Le musoir Ouest, dont le massif de base en enrochements de moellons et de blocailles était déjà très-avancé; celui de l'Est, où il n'existait qu'une simple bande diamétrale dans la direction Est-Ouest suivant le prolongement de la branche; enfin le fort Chavagnac, où tout était à faire, devaient être traités de la même manière.

Les fondations de tous ces forts devaient se composer d'un enrochement de menus matériaux, recouvert par une couche de blocs *naturels* de défense, à laquelle serait superposée une couche de blocs artificiels inamovibles du côté du large et du côté des passes, pour prévenir les affouillements.

Pendant la rédaction des projets du fort Chavagnac et les délibérations qui en furent la suite, M. l'ingénieur Bonnin, qui avait, dès 1843, succédé à M. Mahyer dans le service de la digue, eut à s'occuper des projets définitifs du soubassement des forts, des musoirs, dont le système d'exécution n'avait encore été l'objet d'aucune décision ministérielle.

Dans un mémoire daté du 31 décembre 1845, il proposa d'adopter des dispositions exactement semblables à celles qui viennent d'être indiquées pour la base du fort Chavagnac. Les considérations développées dans ce mémoire, basées sur l'observation des effets que la mer produisait à la digue, justifièrent une fois de plus: la nécessité des blocs artificiels pour le recouvrement des risbermes et d'une partie du talus; l'utilité d'une couche de blocs naturels interposée entre les blocs artificiels et la blocaille; et les avantages de l'emploi exclusif des petits matériaux dans la composition de tout le reste des enrochements.

Le système de construction proposé pour la base du fort Chavagnac fut adopté par les Ministres de la Guerre et de la Marine, conformément à l'avis de la Commission mixte des travaux publics du 20 avril 1846. D'après une autre délibération de la même Commission, en date du 8 juin suivant, il fut décidé que les musoirs de la digue seraient construits en tout point, dans les mêmes formes, dans les

mêmes dimensions et de la même manière que le fort sur la roche Chavagnac.

Commencement des travaux de fondation du soubassement du musoir Ouest, dans le courant de 1846

La question du système de fondation de ces forts se trouvant ainsi complétement résolue, l'on put commencer les travaux de maçonnerie du musoir de l'Ouest dans le courant de la campagne de 1846.

Exécution de 1846 à 1850.
Planche 1.
Planche 5.
Planche 8, fig. 1.
Planche 9, fig. 12.

Les projets approuvés présentaient au pied du parement du soubassement un petit plan incliné à 45 degrés entre l'escarpement supérieur et la superficie à peu près horizontale des blocs de défense. Dans l'exécution, cette disposition n'a pas été observée, et l'on s'est conformé à ce qui s'était pratiqué jusqu'alors avec succès pour les deux branches.

Le parement en granit du soubassement s'élève donc avec un même fruit, à partir de la tablette-socle jusqu'à 2 mètres au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe. La tablette-socle en pierres schisteuses du Becquet repose elle-même sur une couche de béton de 1 mètre d'épaisseur, appuyée extérieurement par une ligne de caisses de béton, comme dans toute la longueur de la branche Ouest.

Le parement extérieur des soubassements des musoirs, rattaché d'une part à la face Nord des branches qui est à l'inclinaison de 1/20e, et d'autre part à la face Sud, qui est à celle de 1/5e, a reçu, dans tout son développement, le fruit de 1/10e intermédiaire entre les deux autres. Le changement d'inclinaison s'est fait dans le raccordement entre la branche rectiligne et le fort.

Le parement intérieur des soubassements annulaires a été élevé verticalement. On l'a construit avec des libages et des moellons choisis, maçonnés à mortier de ciment dans toute la hauteur, sur une épaisseur moyenne de 40 centimètres.

La largeur de la plate-forme du soubassement sous les casemates est de 12 mètres à la limite où s'arrêtent les travaux à la charge de la marine.

Des citernes ont été ménagées dans l'épaisseur des murs, à partir du

niveau des hautes marées, au-dessous de trois des casemates projetées, pour servir à l'approvisionnement de l'eau potable.

Les autres détails et dispositions de ces forts sont d'un intérêt purement militaire et d'une nature étrangère à l'objet de ces notes.

La seconde moitié du musoir de l'Ouest a été fondée en 1846, et les maçonneries en exhaussement ont été exécutées dans cette campagne et pendant les années suivantes, en suivant le même ordre de succession que pour les branches.

En élevant les ouvrages en relief du soubassement, on a eu soin de laisser du côté de la rade une brèche de 8 à 10 mètres de longueur dans toutes les assises supérieures à la deuxième, pour permettre d'introduire dans le centre des travaux les chalands qui apportaient les pierres de taille et le mortier nécessaires à l'élévation des maçonneries, ainsi que les bateaux qui ont apporté ensuite les pierrailles pour combler le vide de l'anneau.

L'exécution des couches de fondation de la zone Nord a exigé qu'on échouât, à toutes les marées, les chalands chargés de béton sur le plateau central d'enrochement, vu la grande distance à laquelle il eût fallu porter le béton à bras si on les eût laissés à flot dans la rade, près le bord sud de la risberme. Cette sujétion a été plus pénible pour les musoirs que pour les branches, parce que les courants avaient, à mi-marée, une intensité plus grande que sur les autres parties de la digue.

Tassements dans les enrochements sous-marins des musoirs extrêmes. Planche 1. Planche 5, fig. 1. Planche 7. Planche 8, fig. 1.

Des tassements considérables se sont manifestés pendant la construction des soubassements des forts extrêmes. Ils ont eu lieu principalement du côté de la rade, comme on s'y attendait d'après la composition et le mode de confection du massif d'enrochement sous-marin.

Il existait en effet à chaque musoir une zone diamétrale d'enrochements dans la direction Est-Ouest et dans le prolongement des branches, dont la formation remontait à la première époque des travaux de la digue.

Les deux segments circulaires au Nord et au Sud de cette base n'ont

été enrochés que dans les années qui ont précédé immédiatement l'exécution des maçonneries.

Le segment du Nord, rapporté sur le grand talus primitif du côté du large, ne présente en matériaux récents qu'une hauteur d'environ 3 mètres, et a subi tout l'effet de tassement que la mer pouvait produire librement sur lui pendant le temps de sa formation.

Au contraire, le segment du Sud est composé de remblais nouveaux dans toute la hauteur comprise entre le plan de fondation des maçonneries et le fond naturel de la mer, et s'est trouvé abrité contre l'action des vagues par les anciens enrochements auxquels il est adossé. Sa compressibilité devait donc être beaucoup plus considérable.

Cette circonstance rendait nécessaire l'application d'un chargement d'épreuve sur les soubassements des forts avant l'exécution des parties supérieures, chargement qui devait être au moins égal au poids de toutes les constructions complémentaires, y compris l'armement des forts, comme cela avait été fait pour le soubassement elliptique du réduit du fort central après sa construction en 1812.

La nécessité de cette charge d'essai avait été annoncée par le directeur dans les conférences mixtes de 1846. Il avait fait remarquer que si cette charge était appliquée au niveau des marées basses, sur le dessus même de l'enrochement en blocailles qui devait recevoir les maçonneries du soubassement, elle ne pourrait résister à la moindre agitation de la mer, même en été, et jetterait dans de grandes dépenses en pure perte; et qu'en l'établissant au contraire sur le soubassement, c'est-à-dire à 2 mètres au-dessus des hautes mers d'équinoxe, les matériaux qu'on y emploierait seraient bien moins exposés à être bouleversés par la mer dans les gros temps, et pourraient même être employés en grande partie à la construction des ouvrages supérieurs.

Le chef du génie était également d'avis qu'un chargement d'épreuve était indispensable, mais il pensait que son établissement offrirait de grandes difficultés, et qu'on ne pourrait le mettre en place avec sécu-

rité qu'après avoir construit le premier étage de casemates en le faisant porter en entier sur les pieds droits des voûtes du rez-de-chaussée.

Le Comité des fortifications émit l'opinion que, nonobstant le poids considérable de 33 tonneaux par mètre carré que le dessus de la base en enrochements devait supporter, on pourrait se dispenser de la charge d'essai, en ayant soin de procéder à la construction avec précaution et lenteur; attendu que si on laissait pendant quelques années le massif inférieur soumis à l'action des vagues avant d'entreprendre la partie supérieure, il éprouverait, par la puissance des forces vives exercées sur lui par la mer, des effets de compression sans doute aussi grands que ceux qu'on obtiendrait au moyen d'un simple poids. Il ajoutait qu'au surplus la question pourrait être examinée de nouveau après la construction des soubassements, en tenant compte des circonstances dans lesquelles on se trouverait.

Cette manière de voir supposait que les tassements peuvent se produire avant l'application des poids dont ils sont la conséquence, ce qui n'est pas exact, principalement pour les segments Sud, où la compression des enrochements par les forces vives des lames est à peu près nulle.

Le Conseil des travaux de la marine, qui avait émis d'abord l'opinion acceptée par le Comité des fortifications, adopta ensuite, dans ses délibérations du 7 mars et du 8 avril 1846, la proposition de faire servir à l'établissement de la charge d'essai les blocs artificiels qui devaient être confectionnés pour la défense de la base.

Dispositions proposées pour des charges d'essai sur le dessus des soubassements annulaires des musoirs extrêmes de la digue. Planche 5, fig. 1. Planche 7, fig. 1.

Le moyen dont il s'agit, indiqué par M. Bernard, inspecteur général des travaux hydrauliques, consistait simplement à faire confectionner les blocs artificiels destinés à recouvrir les talus de l'enrochement sur la plate-forme même des maçonneries élevées au-dessus des hautes mers d'équinoxe, et à les accumuler en totalité sur ce chantier les uns à côté des autres, en les superposant sur quatre à cinq rangs de hauteur, de manière à obtenir un poids en rapport avec la charge nécessaire.

Lorsque le tassement aurait été produit par cette surcharge, on devait mettre chaque bloc en place sur les talus à recouvrir au moyen de plans inclinés.

L'ingénieur chargé du service de la digue (M. Bonnin) démontra dans une note datée du 12 juillet 1849 l'impossibilité d'employer ce moyen pour la formation de la charge d'essai.

Les mouvements des blocs dans ce système auraient exigé des appareils très-coûteux, impropres à tout autre usage. Les plans inclinés nécessaires à la mise à l'eau auraient été désorganisés par la mer pendant les coups de vent. D'ailleurs la charge d'épreuve devait séjourner au moins *pendant dix ans* sur les maçonneries pour produire tout son effet, *et pendant ce temps les enrochements de soubassement seraient restés sans défense, et exposés à des affouillements dangereux.*

Ce qu'il y avait de plus grave encore, c'est que la défense militaire de la rade devait rester incomplète, jusqu'à ce que la charge d'essai eût été enlevée pour faire place aux ouvrages des forts proprement dits.

Une conférence fut ouverte avec le Génie militaire pour appeler une nouvelle décision sur ce point. Dans le procès-verbal du 30 septembre 1849, le directeur des travaux hydrauliques et le chef du Génie exposèrent que les avis du Conseil des travaux de la Marine et de la Commission mixte avaient été rendus sans que les ingénieurs du port de Cherbourg eussent été appelés à une discussion contradictoire, ni même consultés sur une question dont l'appréciation et l'application étaient cependant essentiellement locales, et déclarèrent que le système de charge d'essai à l'aide des blocs artificiels ne pouvait être mis à exécution.

Déjà des tassements inégaux, conséquence inévitable des inégalités d'âge et de formation des diverses parties des enrochements sous-marins, s'étaient manifestés d'une manière notable à chaque musoir et presque d'une semaine à l'autre, bien que ces enrochements ne fussent encore chargés que du poids des maçonneries du soubassement.

Une charge d'essai ne ferait pas arriver à la limite des tassements, et ne permettrait pas de bâtir avec sécurité les voûtes des deux étages de casemates, si elle ne séjournait pas au moins *pendant dix ans* sur les soubassements des musoirs. Elle ne pourrait donc pas être composée avec les blocs artificiels, car ceux-ci étaient indispensables pour protéger les risbermes périmétriques des forts et des soubassements élevés par la marine. La charge d'essai avait d'ailleurs des inconvénients très-sérieux au point de vue militaire. La défense de la rade ne serait parfaitement assurée que quand les forts seraient construits.

Tant que la digue ne serait pas armée, il était hors de doute qu'une attaque par mer aurait de grandes chances de succès. Il importait donc de faire cesser cet état de choses qui compromettait l'existence du port de Cherbourg, au moment de recueillir le fruit des dépenses énormes faites depuis tant d'années. Les deux chefs de service proposèrent en conséquence de renoncer complétement au mode de charge d'essai faite avec les blocs artificiels et d'y suppléer par d'autres moyens plus compatibles avec l'organisation de la défense militaire de la rade.

Les avis du Conseil des travaux de la Marine, du Comité des fortifications et de la Commission mixte furent favorables à ces propositions, qui reçurent l'approbation définitive du Ministre de la Marine et de celui de la Guerre.

Il fut décidé en conséquence qu'il y avait lieu de renoncer pour la charge d'épreuve à l'emploi des blocs artificiels adoptés en 1846; que ces blocs devaient recevoir immédiatement leur destination spéciale et être mis en place sur les talus des enrochements avant de commencer les travaux de l'escarpe et des pieds-droits des voûtes au-dessus du massif de soubassement; et qu'il convenait d'adopter pour charge d'épreuve le poids qui résulterait de la construction immédiate du mur de *masque* des casemates sur tout le périmètre du fort et des pieds-droits, augmenté du poids des moellons qu'on pourrait loger sur le soubassement dans l'emplacement des casemates. Les voûtes ne de-

vaient être construites qu'après un délai de *dix années*, jugé nécessaire pour la durée de l'épreuve.

L'exécution de la charge d'essai et la dépense furent mises au compte de la Guerre, et la Marine n'eut plus qu'à fournir à pied d'œuvre les moellons nécessaires.

Dans l'exécution, les voûtes du rez-de-chaussée au-dessus du soubassement ont été construites avant le temps fixé, et sans que la charge d'épreuve préalable eût été complétement faite. Mais les tassements inégaux qui s'étaient produits dès l'origine et manifestés par des lézardes aux deux extrémités Est et Ouest de chacun des forts ont continué leur jeu et ont motivé récemment la suspension temporaire des travaux du deuxième étage, avec l'addition sur les voûtes du rez-de-chaussée d'un poids d'épreuve supérieur à celui de tous les ouvrages complémentaires, jusqu'à ce que le mouvement, qui est maintenant très-peu sensible, cesse tout à fait.

Travaux du musoir de l'Est de 1848 à 1851.

Planche 1. Planche 7, fig. 4. Planche 8, fig. 1. Planche 9. fig. 14.

Le soubassement du fort de l'Est a été entrepris en 1848 et continué activement pendant l'année suivante. Il était terminé au 1er mai 1851, et a été remis aussitôt au service du génie. Celui de l'Ouest lui avait été remis déjà le 29 décembre 1850.

Pour terminer ce qui se rapporte aux musoirs, il reste à donner les détails qui se rapportent à la construction des blocs artificiels employés à la défense de leur base.

Les ingénieurs n'avaient pas attendu la décision sur le mode d'établissement de la charge d'essai des musoirs pour s'occuper de l'organisation des chantiers de confection des blocs. Dans une note du 16 janvier 1846, on trouve l'exposé de leurs premières vues sur ce sujet.

Blocs factices de défense des enrochements sous-marins vers le large.

Les blocs artificiels devaient être généralement employés sur des talus et des risbermes trop élevés par rapport au niveau des eaux pour que leur mise en place fût praticable à basse mer, et la force des courants de flot et de jusant ne permettait de faire cette opération qu'à l'heure des *pleins*.

Les appareils flottants affectés au transport ne pouvaient même pas dans les plus hautes marées passer par-dessus les blocs qui devaient être posés sur le haut du talus dans le voisinage des murailles. Il en résultait donc la nécessité d'employer simultanément deux systèmes différents, savoir :

1° Pour les blocs de la zone inférieure, vers le large; confection dans un chantier particulier, transport par mer et mise en place à marée haute;

2° Pour les blocs de la zone supérieure; confection sur les soubassements mêmes des forts, et lancement après le durcissement; ou plus simplement, confection immédiate sur place définitive, *à marée basse*.

La ligne de démarcation entre ces deux zones, c'est-à-dire la limite de séparation des blocs construits en place et des blocs transportés après confection, pouvait être fixée arbitrairement selon les exigences ultérieures de la marche des travaux.

Planche 1. Le chantier de confection des blocs destinés à la zone inférieure pouvait être établi sur différents points, savoir:

A Querqueville, sur les terrains dépendants du fort;

Au Becquet, sur un bel emplacement au Sud du port qui était en la possession de la marine;

A la digue même, soit sur toute la plate-forme des murailles, soit sur les risbermes Sud des deux branches, dans tout leur développement.

Le chantier du Becquet, fort beau en lui-même, avait le défaut d'être situé sur la côte Est de la rade, ce qui aurait obligé à remorquer les appareils contre les courants de flot qui portent de l'Ouest à l'Est. Cet inconvénient majeur était un motif péremptoire d'exclusion.

Le chantier de Querqueville, moins bien disposé que le précédent, était situé sur un point beaucoup mieux placé par rapport aux courants de marée. Il y avait donc possibilité d'en tirer parti, surtout dans l'hypo-

thèse où les blocs auraient dû être l'objet d'une fourniture par entreprise.

La digue même convenait mieux encore dans le cas où la confection aurait lieu par la voie de régie directe, qui était le seul mode en vigueur pour tous les autres ouvrages.

Mais alors il valait mieux construire les blocs à basses mers sur la risberme Sud que sur le haut de la muraille, pour éviter les dépenses et les pertes de temps nécessaires aux mouvements des blocs et à leur mise à l'eau. Un matériel spécial considérable, consistant en chemins de fer, appareils de soulèvement sur les chantiers, chariots, cabestans, plans inclinés, etc., était indispensable dans la première combinaison et tout à fait inutile dans la seconde.

Avec une matière aussi énergique que le ciment, il était d'ailleurs indifférent, sous le rapport du durcissement des mortiers, de faire les blocs sur une risberme submersible ou sur une plate-forme au-dessus des eaux. Le premier mode avait même l'avantage d'être une *épreuve immédiate* de la vitesse de prise, de la résistance et de la durée des mortiers.

La sujétion des intermittences du travail était acceptable, parce que les ouvriers employés à la confection des blocs à basse mer pouvaient être occupés pendant la mer haute à d'autres ouvrages de maçonnerie.

Ces considérations expliquent la préférence accordée à la digue sur les autres chantiers.

On avait d'ailleurs renoncé à recourir à un entrepreneur pour la fourniture des blocs artificiels, tant par crainte des malfaçons que pour ne pas introduire un nouveau mode d'exécution dans des ouvrages qui avaient été faits jusqu'alors en régie et qui touchaient presque à leur terme.

Tous les blocs furent donc fabriqués à la digue à basse mer, partie sur les talus et les risbermes mêmes des forts, à leur place définitive; Confection des blocs factices à basses mers, soit à

leur emplacement définitif, soit sur les risbermes Sud des deux murailles Est et Ouest, avec transports et immersion subséquents au large des musoirs.
Planche 5.
Planche 6.
Planche 7, fig. 1, 2, 3, 4.
Planche 8, fig. 1, 2, 3.

et partie sur les risbermes Sud des branches, pour être transportés au large après leur durcissement.

Les blocs confectionnés autour des musoirs ont été disposés par rangées circulaires concentriques aux soubassements, et orientés dans les directions divergentes des rayons.

On avait d'abord laissé un intervalle d'euviron $0^m,50$ de largeur entre les blocs construits pendant les premiers temps, mais on les fit bientôt jointifs sur tous les sens pour simplifier la main-d'œuvre, et pour préserver plus sûrement l'enrochement inférieur de tout danger d'affouillement. Les vides laissés entre les premiers blocs furent même remplis après coup avec de la maçonnerie de ciment.

Toutefois, en construisant les blocs jointifs, on se tint en garde contre la tendance naturelle à y substituer un ouvrage en maçonnerie tout d'une pièce, qui aurait recouvert de grandes surfaces sur les talus et les risbermes, sans aucune solution de continuité. L'on maintint strictement la division par blocs réguliers de 20 mètres cubes ou à peu près. Cette précaution parut nécessaire pour prévenir le mauvais effet des cassures irrégulières qui pouvaient être la conséquence des tassements inégaux de l'enrochement.

Les blocs construits sur les risbermes Sud des branches étaient rangées par petites files perpendiculaires à la direction longitudinale de la digue. Le nombre des blocs d'une file dépendait de la largeur de la risberme. Sur certains points, où la risberme se trouvait très-large, on pouvait placer trois blocs ; sur d'autres points où elle était au contraire très-étroite, il n'y avait place que pour un seul, mais plus communément, une file se composait de deux blocs.

On laissait un intervalle de $0^m,50$ au moins d'un bloc à l'autre dans le sens des rangées Nord-Sud, pour que toutes les faces fussent accessibles pendant la construction.

On réservait aussi au pied de la muraille une zone de risberme de $5^m,50$ de largeur, sur laquelle les blocs n'empiétaient pas. La longueur

des chalands jumelés affectés au transport ne permettait pas de les placer plus près du parement Sud du mur.

Des coursives de 6m,50 de largeur séparaient les files successives et laissaient la place nécessaire au passage des chalands jumelés pour l'enlèvement des blocs.

Ces dispositions exigeaient sans doute de vastes emplacements; mais l'étendue des risbermes Sud de la digue dépassait évidemment tous les besoins présumables.

Les blocs étant fabriqués avec du mortier de ciment, on pouvait les soulever et les transporter peu de temps après leur construction, et en bâtir d'autres plusieurs fois successivement sur les mêmes emplacements. C'est, en effet, ce qui a eu lieu, non parce que l'étendue du chantier était insuffisante, mais seulement pour rester le plus près possible des musoirs et diminuer les distances de remorquage.

Un bloc passait généralement deux mois environ sur la risberme Sud après sa confection avant d'être enlevé, quelquefois un mois seulement, selon les circonstances. On en a même transporté sans accident qui n'avaient que vingt jours, et il eût été probablement possible de réduire encore ce délai, s'il y avait eu nécessité. Mais en général la fabrication marchait plus vite que l'enlèvement, car elle pouvait se continuer à peu près par tous les temps, tandis que le transport par mer à la remorque dans la rade et au large était impraticable quand il faisait beaucoup de vent.

Les premiers essais relatifs à la composition et au dosage des blocs avaient été faits, en 1845, par l'ingénieur de la digue, de concert avec le directeur.

A cette époque, l'attention publique venait d'être appelée, par M. Vicat, sur les phénomènes de décomposition qu'éprouvaient les mortiers et les bétons dans les eaux marines, surtout ceux où entrait la pouzzolane artificielle. Les ingénieurs devaient donc se tenir en garde contre la tendance naturelle à adopter des combinaisons qui auraient procuré

Essai sur la composition des blocs factices.

en apparence des économies immédiates, mais qui, peut-être, n'auraient pas possédé toutes les garanties désirables de résistance et de durée sous l'action décomposante et dissolvante des eaux de la mer.

Bien que la pouzzolane *naturelle* n'inspirât encore alors aucune défiance, il était à peu près impossible de songer à employer cette matière à Cherbourg, à cause de l'éloignement de production et de son prix élevé.

Pour écarter toute crainte sur l'avenir des blocs, le directeur avait songé à les confectionner avec des matières, et selon des procédés tout nouveaux, qui n'auraient laissé aucune prise aux réactions chimiques des éléments de l'eau de mer. Il avait indiqué à cet effet:

1° Les blocs à gangue asphaltique artificielle;

2° Les blocs en argile cuite, à la façon des briques ordinaires, ou en silicate *quelconque* fusible.

Des essais tentés sur une petite échelle avec du coltar, de la chaux et du sable, firent connaître que la fabrication de blocs de la première espèce présenterait probablement quelques avantages réels.

Mais comme on ignorait l'effet que l'eau de mer eût pu produire à la longue sur la matière bitumineuse de ces blocs, et l'influence des actions mécaniques et de la pression de l'eau sur leurs masses; comme il était même jusqu'à un certain point présumable que des altérations ultérieures auraient pu se manifester, après un laps de temps plus long que celui dont on pouvait disposer pour la période des essais et des observations, il fallut renoncer à cette idée et chercher un autre expédient.

Les blocs en argile cuite ou en matière vitrifiable étaient évidemment la meilleure solution; mais comment arriver à cuire jusqu'au centre de leur masse des blocs de 15 à 20 mètres cubes de volume individuel? Où trouver des matières fusibles propres à fournir des coulées du poids de plus de quarante tonneaux à des conditions de prix rapprochées de celles de la confection des blocs à principe lapidifique préparés par voie humide? Combien d'essais et que de dépenses n'au-

rait-on pas eu à faire avant d'obtenir des résultats satisfaisants et d'arriver à un système complet de fabrication?

Le mode d'exécution des travaux de la digue en régie directe n'eût pas permis aux ingénieurs de faire les expérimentations dispendieuses que ces produits eussent exigées, d'autant plus que le succès était problématique. D'ailleurs l'époque où la construction des blocs allait nécessairement commencer était très-rapprochée, et il ne restait plus assez de temps pour entreprendre ces recherches, probablement fort longues.

Cependant, avant d'abandonner tout à fait cette idée, le directeur eut la pensée de chercher dans les roches naturelles les grosses masses fondues que l'on n'espérait pas obtenir par les procédés de l'art. Les laves volcaniques du Vésuve fixèrent particulièrement son attention. Par l'intermédiaire de M. l'ingénieur en chef, Bayard de la Vinytrie, il fit prendre des informations à Naples sur la possibilité d'extraire des grands blocs de lave, de les embarquer et de les expédier à Cherbourg, où il n'y aurait eu qu'à les immerger.

Les renseignements obtenus sur cette affaire apprirent qu'elle était réalisable sous le rapport technique; mais qu'au point de vue de l'économie, elle était impossible par suite du prix élevé du fret et de la nécessité d'affecter des bâtiments spéciaux au transport de ces blocs.

Il fallait donc en revenir aux ressources de la localité qui étaient:

La chaux naturelle de Blosville et d'Emondeville, moyennement hydraulique;

La pouzzolane calcaire artificielle du Becquet:

Les ciments de toute provenance, particulièrement les ciments anglais, pour lesquels la Marine avait des marchés en vigueur.

On confectionna, en 1845, quelques blocs d'essai avec ces diverses substances, en partant de ce principe qu'il fallait commencer par les composés les moins coûteux et augmenter progressivement le dosage

des matières les plus énergiques jusqu'à ce que l'on obtînt la résistance nécessaire.

Le premier bloc, en mortier de chaux hydraulique du pays, confectionné sur le haut de la muraille, ne put, après trois mois de durcissement à l'air pendant l'été, supporter sans se briser en morceaux l'opération du lancement sur la risberme sud de la digue.

Un autre bloc, en mortier semblable, mais dans lequel on avait incorporé du ciment Parker à la dose de un dixième, construit et lancé dans les mêmes conditions, donna le même résultat.

Un troisième bloc, de même composition que le précédent, confectionné sur la deuxième assise, vers l'extrémité de la branche Ouest, au niveau des basses mers de morte-eau, fut détruit aux trois quarts dans une forte brise de Nord-Ouest, quelques jours après sa confection.

Ces dosages étaient donc insuffisants, car les blocs devaient être capables, les uns de supporter le transport et l'immersion sans se briser, les autres de résister à l'action des vagues qui pourraient les assaillir peu de temps après leur confection sur le haut des talus des bases des forts.

Deux nouveaux blocs d'essai furent fabriqués :

L'un sur la muraille de la branche Est avec du mortier composé de chaux de Blosville et de pouzzolane artificielle mélangées avec du sable dans la proportion habituelle, et d'une quantité de ciment égale au sixième du volume du bloc;

L'autre sur la deuxième assise de la muraille de l'Ouest, au niveau des basses mers de morte-eau, avec du mortier ordinaire de chaux de Blosville sans pouzzolane, mais avec une proportion de un quart de ciment.

Le premier supporta sans se rompre le lancement du haut en bas de la muraille sur la risberme Sud au moment de la pleine mer.

L'autre, cinquante jours environ après sa confection, fut poussé par les vagues vers l'intérieur de la rade et jeté sur la risberme Sud en

pirouettant sur sa base dans un coup de vent de Nord-Ouest; mais il ne s'était pas brisé dans cette épreuve.

Ces deux blocs ont été transportés et immergés sur les talus du musoir Ouest.

Le résultat fourni par ces deux blocs était donc à peu près satisfaisant. Mais, pour en venir là, il avait fallu introduire dans l'un d'eux de la pouzzolane artificielle et une quantité considérable de ciment, et dans l'autre, du ciment en proportion suffisante pour produire à lui seul, sans le secours de la chaux, l'agrégation des matériaux pierreux avec lesquels il était employé.

Ces composés n'offraient donc aucune économie comparativement au mortier de ciment et de sable pur, et ils auraient laissé subsister des craintes sérieuses sur les effets ultérieurs de l'eau de la mer, qui auraient été probablement plus marqués sur des masses dont l'agrégation résultait de la combinaison de plusieurs éléments hétérogènes.

Les préventions d'un grand nombre d'ingénieurs et particulièrement de M. Vicat contre l'emploi de ces mortiers complexes contribuèrent encore à les faire rejeter.

On fut conduit ainsi à l'emploi exclusif du mortier de ciment dans les blocs artificiels de Cherbourg. Ce résultat était conforme aux vues du directeur, qui avait fait pousser les essais le plus rapidement possible dans cette voie, en considérant toutes les autres tentatives comme à peu près inutiles.

Les mortiers de ciment et sable offraient toutes les garanties désirables d'inaltérabilité. Employés depuis longues années aux travaux en mer à Cherbourg, on n'avait jamais remarqué sur eux la moindre apparence de décomposition.

Composition définitive des blocs factices de défense du volume de 20 mètres cubes.

L'avis de la Commission mixte du 20 avril 1846, sur les projets du fort Chavagnac, contient l'expression d'une opinion tout à fait identique sur la nature des mortiers convenables. Il y est dit que, pour être

assuré que les blocs n'éprouveraient aucune altération par l'action de la mer, on les ferait en maçonnerie de *moellons* avec du ciment Parker contenant une certaine portion de sable sans aucun mélange de chaux.

Tous les blocs ont donc été confectionnés avec du mortier de ciment et sable.

Les ciments qu'on y a employés successivement ou simultanément sont :

1° Le Parker ordinaire, de couleur brune; } de MM. Francis et Sons, de Londres.

2° Le Médina, analogue au précédent, de couleur jaunâtre; } de MM. Francis et Sons, de Londres.

3° Le ciment surcuit de Portland, fabriqué par MM. White, de Londres;

4° Le ciment de Boulogne, naturel, livré par M. Emile Dupont;

5° Le ciment de Vassy;

6° Le ciment de Pouilly;

7° Le ciment surcuit, dit de Portland, de la fabrication de M. Emile Dupont, de Boulogne.

C'est avec les trois premières espèces qu'on a fait presque tous les blocs. Les quatre dernières n'ont été encore employées chacune qu'à la confection de un ou de deux blocs seulement, à titre d'expérimentation de la qualité de ces ciments.

Le Parker et le Médina ont donné de bons résultats; mais la manipulation par grandes quantités de ces ciments, à prise rapide, présentait des difficultés, et il arrivait quelquefois que le durcissement étant trop prompt, on n'avait pas assez de temps pour les mettre en œuvre, surtout pendant la saison des chaleurs.

Au contraire, le ciment de Portland avait dans ces travaux l'inconvénient de faire prise trop lentement; et comme les blocs, fabriqués tous sur des risbermes *submersibles*, se trouvaient exposés à l'action des vagues aussitôt après leur confection, il en résultait des délavages superficiels lorsque la mer était agitée en remontant.

Le mélange de ces deux ciments devait posséder les qualités à peu près de chacun d'eux, et corriger les défauts de l'un par l'autre.

Des essais en petit faits par le conducteur Defer avaient démontré que la force de résistance du ciment mixte était intermédiaire entre celles de ses deux éléments.

L'inaltérabilité de l'un et de l'autre inspirait la conviction que leur mélange jouirait de la même propriété.

On fit donc des blocs avec un ciment mixte, composé de mi-partie de Portland et mi-partie de Parker ou de Médina, et plus souvent encore de un tiers Médina et de deux tiers Portland. Le résultat fut si satisfaisant qu'on n'employa plus ensuite que ce mélange toutes les fois que la situation des approvisionnements de ces deux matières ne forçait pas à se départir de cette règle.

C'est ainsi qu'ont été fabriqués environ les trois quarts des blocs confectionnés à la digue.

Lorsqu'on était forcé de faire usage du Portland seul, on rejointoyait les parements extérieurs avec du Parker avant le retour de la mer pour prévenir les dégradations.

Quand, au contraire, c'était le Médina qu'il fallait employer pur, on le corroyait avec un excès d'eau pour en retarder un peu la prise, toutes les fois que cela était nécessaire.

Cette pratique est blâmée par beaucoup d'ingénieurs; mais le durcissement progressif des blocs qui ont été faits de cette manière, et leur état actuel de parfaite conservation, démontrent qu'elle n'a pas les inconvénients qu'on lui a attribués.

Il est entré dans la composition de chaque bloc artificiel du volume de 20 mètres cubes :

5$^{\text{tonn.}}$,70 de Parker ou de Médina employé seul,
ou 6 ,00 de Portland employé seul,
ou 5 ,90 de ciments mélangés, environ dans la proportion de un tiers du premier et deux tiers du second.

On corroyait tous ces ciments avec du sable à la dose de un et demi de sable en volume par un de ciment en poudre, quand c'était du Médina, ou un autre ciment quelconque, à l'exception du Portland ; à celle de deux volumes de sable pour un de ciment, quand c'était du Portland pur; et à une proportion intermédiaire pour les ciments mélangés.

Tous ces composés ont parfaitement réussi. Les blocs les plus anciens, maintenant âgés de huit à neuf ans, qu'on peut observer à basse mer sur les risbermes du musoir de l'Ouest, sont en parfait état et ont conservé toutes leurs arêtes aussi vives qu'elles étaient au moment de leur fabrication.

Les parties des surfaces apparentes qui ne sont pas recouvertes de varechs ou de coquillages laissent voir encore à vif tous les petits plis et reliefs produits par l'action superficielle de la truelle sur le mortier des joints, ce qui est la preuve décisive d'une complète inaltérabilité, *au moins jusqu'à ce jour.*

L'emploi du ciment dans la confection des blocs a donné lieu à quelques accidents qui méritent d'être signalés.

Avaries éprouvées dans la confection des blocs factices.

Deux blocs fabriqués avec du Parker sur la risberme Sud de la digue n'ont pu résister à l'opération du soulèvement après plus d'un mois de durcissement, et se sont brisés, l'un en deux, et l'autre en trois morceaux. Ils n'avaient pas encore acquis la cohésion nécessaire pour supporter cette épreuve.

Cette lenteur de prise exceptionnelle ne peut être attribuée qu'à un séjour trop prolongé du ciment dans les magasins du port avant son emploi ; et ce qui prouve l'exactitude de cette supposition, c'est que les fragments ont acquis ensuite une dureté considérable, qui est le propre des ciments un peu vieux, mais de bonne qualité. Les fragments ont été transportés sur les risbermes des musoirs et utilisés parmi les blocs entiers.

Le ciment de Portland produisit des accidents beaucoup plus graves en 1853.

Un certain nombre de blocs, confectionnés sur la risberme Sud de la digue, avec des ciments mélangés comme il a été dit ci-dessus, présentèrent quelques jours après leur fabrication des fendillements très-apparents à la surface et pénétrant dans l'intérieur de la masse. Ces fissures furent attribuées tout d'abord à des retraits de mortier. Mais elles se manifestèrent bientôt sur d'autres blocs avec des caractères beaucoup plus marqués.

On fit aussitôt confectionner quelques blocs avec du Portland seul, et d'autres avec du Médina seul, pour reconnaître lequel de ces deux ciments produisait ces désordres et pour en découvrir les causes.

Les blocs en Médina se comportèrent parfaitement bien. Mais dans les blocs en ciment de Portland, les fendillements furent presque instantanés. Il s'y produisit dans tous les sens des fissures profondes qui paraissaient aller jusqu'au centre du bloc et dont quelques-unes avaient plus de 5 centimètres de largeur.

Trois ou quatre de ces blocs furent tellement disloqués qu'on reconnaissait à peine leur première forme.

L'ingénieur attribua ces accidents à la présence dans le ciment de *chaux vive libre*, non combinée par suite d'imperfection dans le mélange des matières premières ou dans la cuisson. Il fit l'essai de mélanger de la chaux vive pulvérisée et tamisée au degré de finesse du ciment avec du Médina, et il obtint, *quel que fut le dosage*, des effets semblables à ceux observés avec le ciment de Portland défectueux.

D'autres essais faits au port avec des mélanges de *plâtre cuit* et de ciment Médina donnèrent, lors de l'immersion, des résultats analogues.

L'analyse chimique directe du mauvais Portland, faite à Cherbourg par M. Besnou, pharmacien de la marine et chimiste très-habile, constata la présence du sulfate de chaux en assez forte dose dans ces ciments.

M. Vicat, consulté par le directeur sur cette affaire, répondit :

« Les faits observés par vous à Cherbourg se sont exactement reproduits ici sur le Portland que vous m'avez envoyé, dont l'analyse a été comme il suit :

DÉSIGNATION DES COMPOSÉS.	EXPÉRIENCE DE M. VICAT.	1re EXPÉRIENCE FAITE dans le port.	2e EXPÉRIENCE FAITE dans le port.
Eau et acide carbonique. . . .	3,20	2,25	» »
Silice.	21,20	19,56	20 05
Alumine.	5,55	4,20	3,00
Fer.	4,40	7,30	7,30
Chaux.	60,25	58,35	63,26
Magnésie.	» »	0,90	0,82
Sulfate de chaux.	5,40	9,25	6,66
Totaux. . .	100,00	101,81	101,09

« Cette analyse ne diffère pas très-essentiellement de la vôtre ; mais « ce qui est dans l'une et dans l'autre très-remarquable, c'est que le « rapport de l'argile à la chaux n'y dépasse pas 0,44, ce qui est l'in- « dice des chaux éminemment hydrauliques touchant aux chaux « limites.

« Or, les marnes naturelles ou artificielles ainsi constituées ont be- « soin, pour devenir ciment, d'*un haut degré de cuisson*, sans quoi elles « ne donnent que des chaux éminemment hydrauliques ; il peut donc « arriver que la cuisson ne soit pas uniformément faite, et que dans les « ciments inégalement cuits, il y ait des parties de chaux et des parties « de ciment. Cela seul expliquerait déjà ce qui arrive sans avoir recours « au sulfate de chaux, qui viendrait par surcroît ajouter au mal. »

Le nombre des blocs plus ou moins fissurés était de quarante-trois, dont moitié environ ne présentaient que de faibles fendillements. Une douzaine portaient des fissures plus larges qui inspiraient la crainte qu'on ne pût pas les enlever du chantier de confection pour les trans-

porter sur les risbermes des musoirs; et quant aux sept ou huit autres, ils paraissaient si avariés qu'on s'expliquait difficilement que les parties innombrables dans lesquelles chaque bloc paraissait divisé conservassent encore entre elles un reste d'adhérence.

Les fournisseurs, mandés à Cherbourg pour voir ce désastre, convinrent que leur fabrication avait été négligée.

Ils expliquèrent que le mélange des matières élémentaires, craie et argile, entrant dans la composition de leurs ciments, n'avait pas été faite avec autant de soin que par le passé. Il en était résulté qu'après la cuisson des matières, le produit contenait de la chaux caustique libre, dont l'extinction occasionnait les fendillements destructeurs observés.

Ce qui restait de ce ciment de mauvaise qualité en approvisionnement fut laissé en magasin pendant quelques mois, et, après éventement, employé aux travaux *sans accident.*

Tous les ciments de la nature du Portland sont sujets à produire des fendillements lorsqu'ils sont trop frais, et *c'est là le danger que peut prévenir leur emploi.* Les fournitures de MM. White en ont présenté plusieurs fois depuis quelques traces lors des épreuves de recette.

Le ciment de Portland, fabriqué par M. Dupont, à Boulogne, et employé en 1855 à titre d'essai dans la confection de blocs artificiels au fort central de la digue, s'est comporté de la même manière. On a dû le laisser séjourner quelque temps dans les magasins avant de le recevoir et de le mettre en œuvre; après quoi, il a donné de très-bons résultats.

Cette propriété en apparence si funeste des ciments de Portland n'a rien d'inquiétant quand on la connaît, et il est très-facile de se tenir en garde contre les effets qui pourraient en résulter. Elle ne porte pas atteinte à la qualité essentielle de donner des composés qui deviennent extrêmement durs avec le temps; et la preuve de cela est fournie par les blocs mêmes de la digue dans lesquels le ciment défectueux avait été malheureusement employé. Tous ces blocs, sans exception, même les plus disloqués, ont été soulevés entiers, transportés sur mer au musoir

Est, et immergés sur la risberme du côté de la passe, avec la même facilité que des blocs sains, *et y existent encore*.

Dimensions des blocs factices.

On a dit précédemment qu'un bloc artificiel d'essai, construit sur la deuxième assise, à la branche de l'Ouest, avait été jeté par la mer sur la risberme Sud dans un coup de vent de Nord-Ouest. Les dimensions de ce bloc était de 3m,90 en longueur, 2m,0 en largeur, et 1m,70 en hauteur, formant un cube de 13m.c.,26. On ne put connaître exactement de quelle manière il avait été frappé par les vagues, ni à quelle hauteur la mer supposée calme se trouvait au moment du déplacement. Mais le peu de résistance qu'il avait opposé à son cheminement, à plus de 10 mètres de distance de sa position initiale, fit voir que les dimensions en étaient insuffisantes et engagea à donner aux blocs un volume individuel de 20 mètres cubes.

Ce volume ne paraîtra pas exagéré si l'on considère la grandeur des pressions et des chocs que les vagues exercent sur eux. Il n'est pas rare, dans des coups de vent, de voir des jets d'eau contre les ouvrages de la digue, du côté du large, s'élever en nappe verticale à plus de 20 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer; quelques-uns ont été de *quarante-cinq* mètres.

Pour résister aux poussées de l'eau provenant d'une si forte dénivellation, il faudrait employer des blocs bien supérieurs à 20 mètres cubes, s'ils devaient être exposés *isolément* à l'action des vagues. Mais, eu égard à la protection mutuelle des blocs les uns par les autres, et à la petite portion de surface sur laquelle chacun d'eux reçoit le choc lorsqu'ils sont juxtaposés sur les risbermes et les talus, on a pensé que le cube de 20 mètres serait suffisant, d'autant plus qu'il excédait de 5 mètres cubes celui qui était adopté pour la construction d'ouvrages analogues dans d'autres localités.

Avec un pareil volume, il a paru nécessaire de porter la hauteur de chaque bloc à 2 mètres, pour ne pas augmenter les autres dimensions hors de toute proportion et pour éviter une trop grande fragilité. On a

fixé ces dimensions à $3^m,79$ pour la longueur, et $2^m,70$ pour la largeur minimum.

La hauteur de 2 mètres et le cube de 20 mètres inspiraient aussi une sécurité plus complète contre le danger éventuel de dégradations superficielles progressives sous l'influence de toutes les causes de destruction qui les environnent. Ces dimensions procureraient, le cas échéant, une durée beaucoup plus longue à la couche de défense, et permettraient d'en différer longtemps le renouvellement,

Un fait remarquable a prouvé que ces blocs ne sont pas doués d'un excès de stabilité.

Dans un coup de vent de Nord-Ouest, du mois d'octobre 1848, un de ces blocs immergé sur la zone Nord-Ouest de la risberme du musoir Ouest, appuyé ou à peu près par une de ses petites faces contre la rangée extérieure des blocs construits sur place, et exposé par ses trois autres faces latérales au choc des vagues, a été enlevé de sa position et porté par la mer à plus de *dix mètres de distance*, jusqu'au pied de l'escarpe du fort. Il est resté sur les autres blocs artificiels, à 2 mètres de hauteur au-dessus de son lit de pose primitif, et était retourné sens dessus dessous.

D'autres blocs, stables dans les premiers temps qui avaient suivi leur immersion, ont éprouvé de très-petits déplacements avant d'acquérir leur arrimage définitif. Mais ces effets se sont toujours produits dans d'étroites limites.

Peut-être quelques-uns des blocs sont-ils encore susceptibles de remuer un peu dans les gros temps. Il est permis néanmoins d'affirmer non-seulement que la couche de défense des enrochements de chaque fort est invariable dans son ensemble, mais encore que les blocs factices dont elle est formée sont doués de l'immobilité *individuelle* qu'il s'agissait de leur procurer.

L'application des blocs artificiels de défense sur les talus extérieurs de la base des musoirs devait s'étendre à partir des murailles jusqu'à

la profondeur où les blocs naturels cessent d'être remués pendant les tempêtes. Mais la limite où s'arrête la mobilité de ces derniers n'était pas connue exactement ; on savait seulement qu'elle était située plus bas que la laisse des plus basses mers d'équinoxe.

A défaut d'indication plus précise, on a supposé qu'il n'était nécessaire de recouvrir que la moitié supérieure de la couche de blocs naturels, et on a admis la profondeur maximum de 3m,50 en contrebas du zéro pour limite inférieure de la couche de défense en blocs artificiels.

De cette manière, la base des forts présente, du côté du large, une surface formée avec des blocs factices, jusqu'à 3m,00 ou 3m,50 au-dessous du zéro; avec des blocs naturels, jusqu'à 6m,00 environ au-dessous du même point; et avec des moellons, jusqu'au fond de la mer.

Cette décroissance progressive du haut en bas dans la grosseur individuelle des matériaux de recouvrement est en corrélation avec les variations dans le même sens, qui se manifestent dans les effets des vagues à diverses profondeurs.

La forme des blocs est celle d'un prisme rectangle. On avait songé d'abord à donner du bombement à la face supérieure et à remplacer les arêtes par des petites surfaces arrondies. Mais on n'a pas adopté ces petites améliorations de détail (qui étaient du reste de bien peu d'importance), par crainte des sujétions et du surcroît de main-d'œuvre qu'elles auraient exigés. Avec des matériaux comme les ciments dont on faisait usage, qui devaient être mis en œuvre aussitôt qu'ils étaient gâchés, et avec la condition de confectionner une quantité considérable de blocs sur des emplacements submersibles qui n'asséchaient même pas à toutes les marées basses, la simplicité et la facilité d'exécution étaient évidemment des considérations de premier ordre et des garanties réelles contre le danger des malfaçons.

Les deux premiers blocs en mortier de ciment qui ont été confec-

tionnés en 1846, sur le haut de la muraille, à l'extrémité de la branche Est, comme *apprentissage* pour les employés et les ouvriers, aussitôt après que l'on fut fixé sur le dosage et le volume convenables, ont été traités avec des soins tout particuliers. L'un de ces blocs fut fait en béton avec du cailloutis cassé à la grosseur moyenne de 3 centimètres. Pour l'autre, qui était en maçonnerie, on avait smillé les moellons pour tous les parements vus. On avait ensuite couvert ces deux blocs d'un enduit général en mortier de ciment et sable. On reconnut immédiatement que toutes ces précautions étaient au moins inutiles, et l'on y renonça à tout jamais.

Dans le petit nombre de blocs en béton qui furent faits par la suite, on employa du cailloutis cassé seulement à la grosseur ordinaire.

Dans les blocs en maçonnerie, on se contenta de smiller grossièrement les moellons pour les arêtes montantes, de rejointoyer les faces latérales, et d'appliquer un léger enduit sur la face supérieure. C'est ainsi que presque tous les blocs de la digue ont été préparés.

Motifs de la préférence donnée aux blocs factices en maçonnerie de moellons sur les blocs factices en béton.

Le motif qui a fait accorder la préférence à la maçonnerie sur le béton est la considération des avantages qu'elle possède sous le rapport de l'économie et surtout de la facilité d'exécution.

Les moules pour la confection des blocs en béton devaient être montés à l'avance pendant la marée basse qui précédait le moulage. Ils restaient exposés ainsi à l'action de la mer, qui les bouleversait quelquefois malgré le lest dont on les chargeait, et qui y occasionnait des avaries ou au moins des dérangements suffisants pour retarder et même empêcher leur remplissage à la marée suivante. Il en résultait alors des pertes de temps d'autant plus regrettables que l'on craignait beaucoup de ne pas arriver à faire le nombre total de blocs nécessaires avant l'achèvement des autres ouvrages de la digue, auxquels les ouvriers étaient employés pendant les hautes mers.

Ainsi, les six caisses-moules qu'on avait fait confectionner ne servirent qu'à la fabrication d'un petit nombre de blocs en béton, et fu-

rent transformées en cabanes à outils. Tous les autres blocs, aussi bien ceux construits sur les risbermes des forts, à leur place définitive, que sur les risbermes des branches Est et Ouest de la digue, pour être transportés ultérieurement par mer, furent faits ensuite en maçonnerie avec les moellons grossiers provenant du creusement de l'arrière-bassin.

Les blocs à transporter présentaient deux trous pour le passage des chaînes de soulèvement, placés à 0m,40 au-dessus de la base et à 0m,50 de distance des extrémités, ou deux rainures tout à fait en dessous. Cette dernière disposition fut préférée définitivement comme moins préjudiciable à la solidité.

Un bloc ne pouvait être construit entièrement qu'en deux marées. L'interruption du travail, lorsque le bloc était arrivé à mi-hauteur, n'avait pas d'inconvénient sous le rapport de la solidité, car aucun des blocs transportés ne s'est fendu à l'immersion, ce qui serait arrivé indubitablement si la reprise des maçonneries exécutées à la seconde marée n'avait pas été parfaite.

Ce fait s'explique par la qualité des ciments employés, et par la propreté des eaux de la rade. On avait toujours soin aussi de laisser le dessus de la première moitié tout à fait *fruste*, pour aider à l'adhérence de la partie supérieure.

On travaillait à la confection des blocs, ainsi qu'à tous les autres ouvrages de la digue pendant toutes les basses mers de nuit, comme pendant le jour.

Le nombre des blocs qu'on entreprenait à chaque marée et le total des confections de chaque année variaient en raison du nombre des ouvriers et de l'urgence respective des divers autres travaux de la digue. Avec le personnel dont on disposait pendant les dernières années, dans le cours desquelles cette fabrication a été poussée avec la plus grande activité, on ne pouvait guère entreprendre que trois blocs à la fois, ce qui donnait un maximum de soixante-quinze blocs par mois.

Voici quelle a été l'importance annuelle de la fabrication :

En 1845 et 1846	3	blocs d'essais.	Nombre total de blocs factices confectionnés ou immergés de 1846 à 1855.
1847	46	blocs construits sur la deuxième assise de la partie Sud du soubassement du musoir du fort de l'Ouest et sur le remblai intérieur de ce soubassement, arrasé au niveau de la deuxième assise.	
1848	8	blocs sur le même chantier que les précédents.	
1849	29	blocs sur place définitive au pourtour du musoir Ouest.	
	1	sur la risberme de la branche Ouest.	
1850	246	autour du musoir Ouest en place définitive.	
	30	sur la risberme de la branche Ouest.	
	33	autour du musoir Est.	
1851	1	autour du musoir Ouest.	
	286	sur la risberme Sud de la branche Ouest.	
	171	autour du musoir Est.	
1852	74	sur la risberme Sud de la branche Ouest.	
	287	autour du musoir Est.	
1853	402	sur la risberme Sud de la branche Ouest.	
	4	autour du musoir Est.	
	327	sur la risberme Sud de la branche Est.	
	110	en place définitive sur le talus, au pied du fort interméd.	
	2058	y compris trois blocs d'essai.	
En 1854	»»	néant.	
1855	53	en place définitive au fort central, vers le large et sur place.	

La moyenne du nombre des blocs exécutés dans un mois d'été, déduite de l'année 1853, pendant laquelle la confection a été poussée avec la plus grande activité, est environ de soixante-dix.

Ces blocs sont répartis de la manière suivante :

Musoir du Fort de l'Ouest.

	276	construits sur place définitive.
	720	transportés.
Total. . .	996	

Musoir du Fort de l'Est.

495 construits sur place définitive.
327 transportés.
Total. . . 822

Fort intermédiaire de la branche Ouest.

110 construits en place définitive (dont 1 en ciment de Vassy pour essai).
130 transportés.
Total. . . 240

Fort central.

53 en place définitive (exécutés en 1855).

Le nombre des blocs à transporter après durcissement n'étant pas considérable, on a dû chercher le moyen de se passer d'un matériel flottant pour ce genre d'opérations.

La direction des travaux hydrauliques possédait un grand nombre de chalands qui avaient été nécessaires aux divers travaux de la digue dans la période de leur plus grande activité. Mais l'achèvement successif des assises de fondation des branches et des soubassements des musoirs, pour lesquelles tout le matériel flottant avait à peine suffi, laissait quelques chalands disponibles et permettait d'en disposer pour le transport des blocs artificiels, sans que les autres travaux eussent à en souffrir. Il était donc tout naturel de les affecter à cette destination plutôt que de faire construire des flotteurs spéciaux qui n'auraient pas rendu de meilleurs services.

Mode de transport par mer et d'immersion des blocs factices confectionnés sur les risbermes des branches Est et Ouest de la digue, aux basses mers.

Pour composer un bon appareil, il n'y avait évidemment qu'à réunir deux chalands ordinaires par de fortes poutres placées à la hauteur du pont. Ces poutres devaient maintenir les deux chalands dans une position invariable l'un par rapport à l'autre, et fournir des points d'attache pour les chaînes ou les câbles de suspension des blocs au milieu de l'appareil.

Le tonnage effectif d'un vieux chaland étant en pratique de vingt-sept ou vingt-huit tonneaux, les deux ensemble pouvaient porter cinquante-quatre à cinquante-six tonneaux, ce qui était au-dessus des poids d'un bloc de 20 mètres cubes dans l'air ; et comme il était avantageux et possible de transporter le bloc en le laissant plongé entièrement dans l'eau, ce qui réduisait son poids à vingt-six tonneaux environ, les appareils formés de deux chalands pouvaient porter jusqu'au double de la charge réelle d'un seul bloc.

de jour et de nuit.

Planche 12, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

On aurait donc pu augmenter le volume individuel des blocs si l'expérience en avait fait reconnaître la nécessité.

Il n'eût pas été prudent d'ailleurs de se restreindre au tonnage strictement nécessaire, vu l'état de vétusté des chalands.

Les poutres d'assemblage des chalands de chaque appareil sont au nombre de quatre, savoir :

Deux poutres doubles ayant chacune $0^m,74$ de hauteur et $0^m,39$ de longueur, placées au milieu pour porter les blocs ;

Deux poutres simples de $0^m,42$ sur $0^m,35$ d'équarrissage, placées à l'avant et à l'arrière pour compléter la liaison du système.

Ces poutres sont fixées par des boulons qui traversent des pièces de ceinture appliquées et reliées solidement contre les deux bords, à la hauteur du pont.

Des groupes de quatre crocs en fer sont établis sur chacune des deux poutres, auprès des chalands de droite et de gauche, pour fournir des points d'attache aux ceintures de soulèvement.

La distance entre les bords intérieurs des deux chalands est de 5 mètres. La largeur des blocs étant seulement de $2^m,70$, il reste un espace libre de $1^m,15$ entre les faces latérales du bloc et le bord intérieur des chalands pour faciliter les opérations d'accostage et d'amarrage des blocs, et pour laisser place à l'échappement des chaînes lors de l'immersion.

L'écartement des groupes de crocs est de $3^m,65$ de milieu en milieu.

Il résulte de l'excédant de cette dimension sur la largeur du bloc une obliquité des chaînes de suspension vers le centre qui s'oppose au balancement du bloc dans le sens transversal, lorsque l'appareil est à flot avec sa charge.

Le bloc porte par ses rainures inférieures sur deux chaînes en fer de 36 millimètres de grosseur, dont chaque extrémité est attachée aux maîtresses poutres par l'intermédiaire de quatre bouts de cordage de 5 centimètres de diamètre. Les cordages sont mariés deux à deux et réunis à la chaîne au moyen d'une double maille.

Planche 12. fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

D'un côté de la chaîne se trouve un appareil à échappement qui permet de lâcher le bloc, quand il est arrivé à sa destination.

Cet appareil se compose d'une tenaille entre les dents de laquelle la double maille précédente est engagée. Les deux dents peuvent s'ouvrir et se fermer à volonté, et tenir ainsi le maillon captif ou le laisser échapper en tournant autour d'un axe auquel est attaché le reste de l'appareil de suspension.

Pour soulever le bloc et le tenir suspendu, on saisit le maillon extrême en le rapprochant des deux longues branches de la tenaille, et on assure le contact des deux dents au moyen d'un levier qui est articulé sur le bout de l'une des branches et qui est entaillé à longueur convenable pour servir d'arrêt à l'autre dans cette position.

Quand on veut lâcher le bloc, on tire sur l'extrémité du levier au moyen d'une corde, et on dégage ainsi le bout de la pince, que le poids du bloc fait ouvrir instantanément.

Un petit cordage partant du bout du levier et formant retour du haut en bas, roidi au moment du départ, est filé seulement au moment de l'immersion pour s'opposer en route à l'ouverture accidentelle de l'échappement.

Une garde en fer fixée sur l'étrier de suspension enveloppe toute la longueur du levier et le préserve des abordages.

Ce déclic présente une grande facilité d'échappement, poussée peut-

être même trop loin; mais on a dû le préférer parce qu'il permettait, mieux que tout autre, de saisir le maillon à la sortie du bloc, aussi près qu'on le désirait de la face latérale.

Le motif qui engageait à placer le point d'échappement tout près du bloc était la crainte que la chaîne ne se trouvât prise sur le sol ou entre les blocs artificiels au moment de l'immersion, si on lui laissait trop de longueur.

Il faut considérer, en effet, que le dessous des blocs transportés devant reposer sur un fond d'enrochement à des hauteurs variables, depuis 1 mètre au-dessus du zéro jusqu'à 3 mètres au-dessous, le dessus devait se trouver à des hauteurs comprises entre 3 mètres au-dessus du zéro et 1 mètre au-dessous, en supposant la pose parfaitement régulière, et pouvait même s'élever à 5 mètres au-dessus du zéro, eu égard aux irrégularités de l'immersion sur un sol de gros blocs naturels, et aux superpositions accidentelles. Planche 12, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

Les chaînes devaient avoir 4^m,70 de longueur minimum immergée, en supposant le déclic placé à la sortie de la rainure : il était donc de toute nécessité de ne pas augmenter cette longueur pour ne pas multiplier des chances d'accidents qui n'étaient déjà que trop à craindre. C'est ce qui a conduit à la disposition adoptée pour l'échappement.

Il est arrivé quelquefois que la chaîne s'est trouvée engagée, mais on a toujours réussi à la retirer à temps. Une fois seulement l'appareil a échoué sur les blocs artificiels et on n'a pu dégager la chaîne qu'à la marée suivante. Grâce au beau temps, les chalands sont sortis de cette épreuve sans avaries; mais il est bien présumable que les accidents de ce genre auraient été beaucoup plus fréquents et plus graves avec des chaînes plus longues.

D'autre part, il est arrivé dans tout le cours des transports que trois blocs se sont immergés avant le moment voulu; cela a eu lieu sur les enrochements mêmes des musoirs, dans les parties où les blocs devaient être placés. On ne peut attribuer ces accidents qu'à un abordage acci-

dentel des leviers d'échappement, soit contre les aspérités des enrochements du fond sur lesquels les appareils auront touché, soit contre les faces des blocs mis en place précédemment.

Un seul bloc artificiel s'est détaché en route, et cela sans que les déclics se soient ouverts. C'était un bloc qui avait été construit *au bord* de la risberme Sud et dont l'angle inférieur avait éprouvé une avarie considérable le jour même de sa fabrication, par un coup de vent du Sud-Ouest. On l'avait réparé après coup en le reprenant en sous-œuvre ; mais la pièce rapportée au-dessous n'avait pas adhéré suffisamment au reste de la masse, et elle s'en était détachée pendant le transport. Le bloc n'étant plus soutenu qu'à une extrémité est tombé en chavirant sens dessus dessous et en quittant l'autre chaîne. Il a coulé dans la passe de l'Est, à peu près à 100 mètres de la digue, dans la direction du fort du Musoir au fort Royal. Les sondages qu'on a faits ont montré qu'il ne pouvait apporter aucun obstacle à la navigation.

En prévision d'accidents de ce genre, il était recommandé expressément aux maîtres des bateaux à vapeur de faire le remorquage des blocs en se tenant toujours très-près de la digue, et autant que possible sur la zone des enrochements, prescription qui n'avait pas été assez bien observée le jour de l'accident.

En résumé, le mode d'échappement adopté à la digue, pour des blocs qui n'avaient pas à traverser la rade et qu'il fallait immerger sur des points très-élevés, était bien approprié aux conditions spéciales qu'il avait à remplir ; mais il devrait être considéré comme défectueux dans d'autres circonstances où ces mêmes conditions ne se trouveraient pas réunies.

Ce système d'échappement avait été conçu pour les premiers blocs, qui étaient percés de deux trous pour le passage des chaînes. On a continué à en faire usage pour les blocs à rainures en dessous, parce qu'il fonctionnait d'une manière satisfaisante.

L'appareil de suspension, composé de chaînes de fer avec un maillon

à déclic, et de pattes en cordage, comme il vient d'être dit, était adapté aux blocs pendant la marée basse. On engageait la chaîne principale dans la rainure, à l'aide d'une tringle en bois et d'un petit bout de corde, et on la tirait de manière que le bout qui devait être saisi par la tenaille ne dépassait la face latérale que de la longueur du dernier maillon. On plaçait ensuite la tenaille qu'on fermait avec soin, après quoi on ramenait sur la face supérieure du bloc toutes les pattes en cordage pour les avoir à portée de la main et hors de l'eau lorsqu'il faudrait les accrocher aux poutres de l'appareil flottant à marée montante. Pour empêcher ces chaînes et pattes de retomber à l'eau par leur propre poids et par l'effet des abordages, il suffisait de relier provisoirement ensemble les bouts opposés de chacune d'elles. Planche 12, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

Le passage des chaînes dans les rainures se faisait toujours librement, parce que l'on avait eu bien soin de nettoyer celles-ci de toutes les bavures de mortier de ciment et des moellons qui auraient pu les engager au moment de la confection.

Souvent pendant les mortes-eaux la mer ne baissait pas jusqu'au-dessous des blocs à transporter. Dans ces circonstances, il était utile d'avoir disposé à l'avance pendant les marées précédentes, quand le dessous des blocs asséchait, des ceintures de petites cordes qui servaient à tirer et à mettre en place les grandes chaînes.

Lorsque la mer était montée à peu près de 1^{m},20 au-dessus de la base du bloc, l'appareil flottant, qui tirait moyennement 1^{m},10 d'eau, était halé à l'aide d'amarres portées sur la muraille de la digue. Les poutres se trouvaient assez élevées alors pour passer par-dessus le bloc et être amenées à peu près au-dessus des ceintures de suspension. Les ouvriers employés à la manœuvre descendaient des chalands sur la face supérieure du bloc qui n'était pas encore noyée, et se hâtaient d'accrocher les pattes en cordage aux crocs fixés sur lés poutres de l'appareil flottant.

Il arrivait souvent qu'on n'accrochait pas les pattes en corde par les

œils qu'elles portaient à leurs extrémités, tantôt parce que la mer était un peu trop remontée au moment de l'embossage, d'autres fois, au contraire, parce qu'on voulait saisir les ceintures plus bas que l'œil, pour être plus assuré de l'enlèvement du bloc à marée haute dans les mortes-eaux défavorables. On conçoit d'ailleurs que les pattes en cordage s'allongeaient par l'usage et qu'elles se trouvaient tantôt trop courtes et tantôt trop longues. Mais dans ces cas, on faisait un amarrage sur les crocs avec quelques tours d'un petit cordage simple, ce qui était aussi solide et presque aussi expéditif.

Une fois que les pattes étaient accrochées aux poutres, il n'y avait plus qu'à attendre que la mer continuât à monter pour mettre le bloc à flot par le jeu de la marée, et sans autre opération.

Les longueurs des ceintures étaient déterminées de telle manière que le bloc se trouvait immergé de toute sa hauteur, lorsqu'il était soulevé entièrement. Sa face supérieure se trouvait alors à peu près au niveau de l'eau, de manière que l'immersion du volume entier produisait tout l'allégement possible sur les pattes de suspension et sur les poutres; toutefois le bloc n'était pas suspendu plus bas qu'il n'était nécessaire, eu égard à la nécessité de réduire, autant que posble, le tirant d'eau du système.

Planche 12, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

En fait, la face supérieure des blocs à flot était souvent de 15 à 20 centimètres au-dessous de la surface de la mer, par suite de l'allongement des cordes et du temps perdu au moment de l'embossage, et souvent aussi des inégalités et de l'exhaussement de la risberme du côté de la muraille, qui retardaient un peu le moment de l'embossage des chalands jumelés.

On voit qu'il fallait que la mer montât environ de $2^m,20$ à $2^m,30$ au-dessus de la base des blocs, c'est-à-dire au-dessus de la risberme qui avait servi de chantier de confection, pour que l'appareil flottât avec sa charge.

D'autre part, la marée en morte-eau n'atteint souvent que la cote

de 4^m,60 à 4^m,80 au-dessus du zéro, et quelquefois moins. Il fallait donc que la risberme fût au plus à la hauteur de 2^m,30 à 2^m,50 au-dessus du zéro pour que les blocs pussent être enlevés dans le cours des mortes-eaux ordinaires.

Si le chantier eût été établi à un niveau plus élevé, l'enlèvement des blocs n'aurait pu avoir lieu que dans le cours des vives-eaux, et on aurait perdu les mortes-eaux qui étaient, sous d'autres rapports, plus favorables à ce genre d'opération. Il eût fallu alors un nombre double d'appareils pour faire le même travail.

En supposant la risberme établie à un niveau inférieur, on évitait bien cet inconvénient, mais on tombait dans un autre encore plus grave, celui d'avoir un chantier qui n'aurait asséché, et sur lequel on n'aurait pu travailler que pendant la durée des vives-eaux.

La hauteur la plus convenable était donc celle de 2^m,30 à 2^m,50 environ. C'est celle qui existait sur une grande partie de l'étendue de la digue.

Sur les points qui étaient plus bas, on ne confectionnait des blocs que pendant le cours des vives-eaux.

Les points plus élevés étaient réservés avec soin pour les mortes-eaux défavorables; mais les blocs qu'on y construisait ne pouvaient être enlevés que pendant les grandes marées. Planche 12. fig 1, 2, 3, 4 et 5.

Les blocs qui ont été construits sur les points les plus élevés sont ceux qu'on a bâtis sur la deuxième assise de la partie Sud du soubassement du musoir Ouest et sur le remblai central de ce musoir, arrasé à la même hauteur. Ce chantier était à la cote de 3^m,40 au-dessus du zéro. On n'a pu en enlever les blocs que pendant les vives-eaux.

Les blocs confectionnés sur les points les plus bas de la risberme Sud des branches ont été bâtis environ à 1^m,50 au-dessus du zéro.

Ces limites ont pu être atteintes sans inconvénient, parce que la plus grande partie de l'aire de la risberme Sud était établie à des hau-

teurs intermédiaires qui permettaient de continuer le travail de confection et l'opération ultérieure de l'enlèvement dans toutes les circonstances de marées.

Les dispositions du chantier de confection et de l'appareil de soulèvement étaient, comme on le voit, combinées de manière à satisfaire convenablement aux conditions spéciales des travaux à exécuter. Elles permettaient de réduire au minimum le nombre des appareils affectés aux transports, ce qui était un avantage précieux sous le rapport de l'encombrement et de l'économie.

Manœuvres pour les transports et l'immersion des blocs factices.

Avec ces dispositions, *deux couples de chalands*, formant deux appareils, ont suffi pour tous les blocs à transporter.

Ils étaient remorqués simultanément, ou plus souvent l'un après l'autre, par le bateau à vapeur qui faisait le service de la digue, de la force moyenne de soixante chevaux.

Si le nombre des appareils eût été plus considérable, un seul remorqueur n'eût pas pu suffire à tout, et la dépense aurait augmenté dans une forte proportion.

Les blocs étaient amenés à la remorque jusqu'à proximité des enrochements de base des musoirs. Lorsque les appareils étaient abandonnés par *le vapeur*, les marins portaient des amarres sur des bouées mouillées au large des musoirs, et ensuite sur les points convenables des soubassements, pour amener le système flottant à la place précise où le versement devait avoir lieu.

Planche 12, fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

A l'aide de quatre amarres divergentes dans des directions à peu près rectangulaires entre elles, on pouvait toujours amener le bloc sur l'emplacement voulu, qui était souvent marqué par un petit flotteur de bois placé à basse mer et qu'on vérifiait toujours en sondant avec des gaffes.

Les mailles d'échappement des deux chaînes de suspension étaient ouvertes simultanément et du même coup par une corde formant patte d'oie, sur laquelle on agissait à bras d'hommes au moyen d'une

barre qui avait pour point d'appui une petite traverse posée sur les maîtresses poutres.

Une fois le bloc lâché, on relevait la grande chaîne pendante, on filait les amarres de terre, et l'on écartait l'appareil flottant des musoirs en halant sur les amarres du large.

Toutes ces manœuvres de l'immersion, depuis l'instant où le bateau à vapeur avait abandonné les chalands couplés avec leur charge, jusqu'au moment où il pouvait les reprendre lèges, exigeaient une demi-heure de temps environ ou trois quarts d'heure au plus.

Elles étaient faites par douze hommes, qui composaient l'équipage d'un appareil.

Ces ouvriers, marins de profession pour la plupart, étaient occupés à basse mer à placer les chaînes autour des blocs, à faire les pattes de cordages pour remplacer celles qui étaient usées, à dresser la risberme aux alentours des blocs à soulever, etc.; et à mer montante, ils avaient à faire tous les ouvrages de détail nécessaires au soulèvement, au transport et à l'immersion des blocs.

Un surveillant était affecté en outre à chaque appareil et commandait la manœuvre. C'est lui qui désignait la place et l'instant où le versement devait se faire.

On travaillait, à la marée de nuit comme à celle de jour, toutes les fois que le temps était favorable. Les mêmes équipages faisaient les deux marées et recevaient pour leur travail, pendant les vingt-quatre heures, un salaire de un jour et demi.

Avec les deux appareils et les deux équipages on transportait ainsi quatre blocs par jour en temps favorable.

Le bateau à vapeur reprenait les chalands aussitôt que possible et les ramenait en rade, où ils mouillaient sur des ancres à proximité des blocs qu'ils avaient à enlever à la marée suivante,

Lorsque la mer était trop agitée, les appareils flottants *à lège* étaient conduits à l'abri dans l'avant-port militaire.

Quelquefois le vent fraîchissait après l'embossage et ne permettait pas de conduire les blocs aux musoirs. On les déposait alors sur la risberme Sud en faisant fonctionner l'échappement, et on les reprenait plus tard lorsque le temps était devenu favorable.

Le nombre de blocs transportés et immergés a été :

En 1847 de	7	
En 1848 de	28	
En 1849 de	19	
En 1850 de	»	
En 1851 de	199	
En 1852 de	190	
En 1853 de	704	
En 1854 de	35	en janvier.
Total. . .	1182	blocs.

En prenant les résultats de l'année 1853, la seule pendant laquelle on avait donné à ces transports toute l'activité possible, avec deux appareils en service, on voit que chacun a transporté trois cent cinquante-deux blocs, ou environ un par jour, c'est-à-dire que l'opération du soulèvement et du transport des blocs à la digue a été praticable, en moyenne, pendant la moitié du temps, ou une marée sur deux.

On trouvera plus loin l'indication du prix de revient des blocs artificiels.

Tels sont les faits qui se rapportent à la construction des forts extrêmes.

Ouvrages complementaires à la batterie d'enveloppe du fort central, et à ses raccordements avec les murailles des branches Est et Ouest ; et aux ports de refuge du fort central et des musoirs ex-

En même temps qu'on travaillait aux musoirs, on s'occupait aussi de la continuation des ouvrages définitifs du fort central, qui avaient été commencés en 1845 et 1846 par la construction de la partie extérieure du mur d'escarpe de la batterie. Cette continuation comprenait :

Les compléments de ce mur à exécuter du côté de la rade ;

Les raccordements à l'Est et à l'Ouest dans l'emplacement des terre-

trêmes, exécutés de 1846 à 1852.

pleins de communication provisoire jusqu'à l'origine des ouvrages définitifs des deux branches;

Planche 2, fig 2.

Les môles des deux petits ports,

Planche 6.

Planche 8, fig. 1 et 2.

Et l'exhaussement du soubassement du réduit.

Planche 9, fig 7, 7 *bis* et 7 *ter*.

Ces divers travaux pouvaient s'exécuter en toute saison et sans crainte d'avaries, à l'abri des murs de soutènement extérieurs des terre-pleins provisoires. Mais par compensation à cet avantage, il fallait déblayer le terrain depuis le dessus des chemins de communication jusqu'au niveau des fortes basses mers de vive-eau pour fonder les maçonneries à la place du sol provisoire formé de blocs bruts et de blocailles de toutes grosseurs.

On s'est servi avec avantage des chalands à bigues pour enlever les blocs, et des chalands ordinaires pour déblayer les pierrailles.

Les produits ont été versés en enrochements à proximité, principalement dans l'emplacement de la jetée du petit port, à l'Est du fort central et de sa risberme Sud.

Les caisses de béton au pied du mur, du côté du large, eussent été inutiles dans les raccordements précités, et on les a supprimées.

On a réduit aussi à $0^m,50$ l'épaisseur de la couche de fondation au-dessous du socle, qui a été abaissé d'autant. Ces dispositions étaient semblables à celles qu'on avait adoptées déjà pour la partie du mur définitif d'enveloppe de la batterie, situé du côté du large.

Le raccordement de 75 mètres de longueur avec la branche de l'Ouest a été fondé en 1846 et élevé jusqu'au niveau des hautes mers en 1847.

Le raccordement semblable de 115 mètres de longueur, à l'Est de la batterie, a été commencé en 1847 et continué pendant les années suivantes.

La portion de ce dernier raccordement qui s'est trouvée établie sur l'emplacement intérieur du petit port provisoire repose sur une partie du sol qui n'avait pas encore été exhaussée au-dessus du niveau des

basses mers, et à éprouvé par suite un tassement considérable et un déversement du Nord au Sud qui s'est manifesté par une inflexion sensible dans le couronnement.

Petits ports de refuge à l'Ouest et à l'Est du fort central.
Planche 1, Planche 2, fig 1.
Planche 6.
Planche 9, fig. 9 et 9 *bis*, 10 et 10 *bis*.

Le môle du petit port définitif de l'Ouest du fort central a été construit en 1844 et 1845, sauf le musoir, qui n'a pu être fait que quelques années plus tard, après l'enlèvement du chemin de communication provisoire qui était adossé à la branche Sud-Ouest de la batterie.

Le parement de ce môle, du côté de l'intérieur du port, a été construit avec des pierres taillées du Becquet; et on a reconnu encore, dans cette circonstance, que cette espèce de pierre ne présentait aucune économie sur le granit pour la construction des parements des ouvrages à la mer.

Le môle du petit port de l'Ouest est bâti comme les soubassements des forts extrêmes, en partie sur des enrochements anciens, et en partie sur des enrochements nouveaux. Aussi il a éprouvé des tassements considérables et inégaux. Il s'est produit, au coude de ce môle, une dislocation qui a exigé une réparation dans toute la hauteur de la muraille lorsque le tassement s'est arrêté.

En faisant les démolitions nécessaires pour la reprise des maçonneries, en 1853, on a trouvé les mortiers de *chaux de Blosville avec ou sans pouzzolane aussi sains dans les fissures baignées par la mer qu'ils peuvent l'être dans les massifs les plus imperméables.*

Le môle du petit port à l'Est du fort central a été construit de 1847 à 1849.

Il repose aussi sur des enrochements d'âges différents; mais dans sa construction on a ménagé une lacune en exhaussant les maçonneries depuis la deuxième assise jusqu'au couronnement dans le voisinage du coude, au point où la plus forte lézarde devait se déclarer. Cette brèche a été bouchée dans la dernière année des travaux.

Puits pour maréographe dans le môle

On a profité de cette circonstance pour établir dans l'épaisseur des maçonneries, sur ce point du môle, un puits qui est en communication

par le fond avec la mer et qui servira à obtenir, par l'observation de la hauteur de l'eau, un terme de comparaison avec l'échelle fixe du marégraphe de l'arsenal, toutes les fois qu'on voudra opérer des nivellements sur la digue, où il n'y a encore aucun point de hauteur absolument fixe. Est du petit port, à l'Est du fort central. Planche 6.

On a exécuté de la même manière et dans des conditions analogues les môles des petits ports des musoirs extrêmes qui ne diffèrent de ceux du fort central que par le tracé. Ces petits ports, modifiés et agrandis au moment de l'exécution, sont formés de deux môles dont l'un est concentrique à l'escarpe circulaire du fort, et l'autre dirigé sur le centre. Leur largeur est de 30 mètres. Ils sont ouverts à l'Est et au Sud-Sud-Est, à l'opposé des vents régnants dans la rade. Ports de refuge des deux musoirs extrêmes de la digue. Planche 1. Planche 5, fig. 1. Planche 7. Planche 9, fig. 13 et 15

Les enracinements des môles des petits ports du fort central avaient été rattachés assise par assise et raccordés suivant une ligne courbe avec les parements Sud des murailles principales. Ceux des ports des musoirs extrêmes de la digue, faits après coup, ont été simplement juxtaposés contre les parements en granit des branches et des forts, sans liaisons et sans raccordements, pour faciliter les tassements inégaux qui devaient résulter de la différence d'âge des enrochements de base et des murailles. On a évité ainsi le déchirement des maçonneries et l'on n'a eu plus tard qu'à remplir le vide qui s'est formé à l'origine de ces môles.

Les passes de tous ces petits ports n'ont que 10 mètres d'ouverture, et malgré cela la mer est très-agitée dans l'intérieur par les grands vents du Sud qui produisent, comme on l'a dit précédemment, un clapotis violent à marée haute dans le voisinage de la digue. Mais cependant les embarcations sont toujours en sûreté dans ces petits ports.

La largeur de leurs différents môles n'est que de 4 mètres en couronne. Les parements sont inclinés à $\frac{1}{5}$ vers l'extérieur et à $\frac{1}{12}$ vers l'intérieur.

Des canons d'amarrage d'un petit calibre et des bornes en granit sont

établis autour des quais pour la tenue des embarcations à flot. Des escaliers et des échelles encastrées dans des rainures présentent des moyens de débarquement qui étaient indispensables pour le service des forts.

Le parement Sud des deux branches est pourvu aussi dans toute la longueur de la digue d'échelles encastrées dans des rainures placées de cent mètres en cent mètres à la branche de l'Ouest et à une distance double à la branche de l'Est.

Exhaussement du soubassement elliptique du fort central qui avait été exécuté de 1811 à 1812. Planche 2, fig. 1. Planche 6. Planche 8, fig. 1 et 2. Planche 9, fig. 8 et 12.

L'exhaussement d'environ 1 mètre 50 centimètres de hauteur moyenne qu'il restait à terminer au réduit du fort central sur le massif elliptique en maçonnerie, fondé et élevé en 1811 et 1812, n'a pu être exécuté que dans la dernière année des travaux.

Il fallait ménager le plus longtemps possible l'existence des baraques qui couvraient l'emplacement de cet ouvrage; et bien que le nombre des ouvriers de la marine eût diminué dans les derniers temps, on se trouvait encore gêné par l'insuffisance des locaux dont il avait fallu céder une partie au service du génie militaire, lequel avait commencé, en 1851, l'exécution des forts proprement dits aux deux musoirs extrêmes de la digue.

L'exhaussement du réduit central a été parementé d'une manière différente de la partie inférieure. Celle-ci avait été faite avec des pierres de taille dont les lits sont d'équerre sur le parement, et qui ont été posées en donnant à chaque assise une retraite de 8 à 15 centimètres de largeur.

Mais on a changé ce système dans l'exhaussement dont le parement a été fait à la manière ordinaire, c'est-à-dire en suivant une pente uniforme et sans aucune retraite d'une assise à l'autre.

L'ancienne disposition n'a pas même été reproduite dans le remplissage d'une lacune que présentait la partie basse dans l'emplacement d'un grand escalier à double volée, lequel avait été commencé au Sud du petit axe du réduit, et qu'on supprima en 1852

pour augmenter le nombre des casemates ayant vue sur la rade.

Batteries intermédiaires entre le fort central et les forts des musoirs extrêmes. Planche 1. Planche 5, fig. 2. Planche 8, fig. 3.

L'avancement général des travaux sur tous les points de la digue engagea à provoquer, en 1852, une prompte décision sur la question des batteries intermédiaires qui avaient été proposées par le chef du génie, dans les conférences de 1841, pour compléter la défense de la rade. Ces batteries, projetées au nombre de cinq, dont deux à l'Est du fort central et trois à l'Ouest, devaient être organisées de manière à pouvoir tirer à volonté au Nord ou au Sud. Leur établissement aurait nécessité la construction, en cinq points différents, de massifs de maçonnerie en élargissement de la muraille sur 50 à 60 mètres de longueur et 6 à 8 mètres de largeur en saillie sur l'alignement du parement Sud.

L'utilité de ces batteries avait été reconnue par le Conseil des travaux de la Marine, ainsi que par le Comité des fortifications, et la Commission mixte des travaux publics les avait admises en principe dans sa délibération du 18 avril 1842.

Mais le Comité adopta plus tard une opinion contraire et déclara que l'établissement de ces défenses supplémentaires lui paraîtrait *plus nuisible qu'utile*. La Commission d'armement et de défense des côtes exprima un avis semblable en 1847.

Elle proposa toutefois de substituer à ces cinq batteries un petit fort unique qui serait placé au milieu de la branche de l'Ouest, pour boucher la grande trouée qui existait dans la ligne des défenses extérieures de la rade entre le fort central et le musoir de l'Ouest.

Une Commission spéciale d'armement et de défense de Cherbourg reproduisit la même proposition en 1852, en indiquant que la batterie devait être formée de deux étages de feux organisés dans des casemates construites sur la muraille même de la digue. Un élargissement convenable de la plate-forme de la muraille dans toute la longueur de la batterie en arrière des casemates devait rétablir la circulation d'un côté à l'autre de la branche de l'Ouest.

Travaux pour le fort intermédiaire de la branche Ouest de la digue.
Planche 5, fig. 2.
Planche 8, fig. 3.
Planche 9, fig. 11.

Cette proposition fut adoptée immédiatement, et la Marine commença dès le mois de juillet de la même année les travaux de l'élargissement qui étaient à sa charge, comme ceux des autres forts, jusqu'à la hauteur de 2 mètres au-dessus des pleines mers d'équinoxe. L'élargissement a une longueur totale de 70 mètres dont le milieu correspond précisément au point où les deux alignements partiels de la branche Ouest se rencontrent sous un angle de un degré et demi.

La grande largeur de la risberme Sud, qui existait dans cette partie, a dispensé d'y faire des versements complémentaires. Le massif de maçonnerie en élargissement repose donc en entier sur l'ancienne base. Mais cependant, comme ces enrochements n'avaient pas encore supporté de charge directe, ce massif a éprouvé un tassement plus fort du côté Sud, où il est parementé en pierres de taille, que du côté Nord où il est rattaché à la muraille primitive, dont le poids avait déjà produit son effet sur sa base. Il en est résulté une petite lézarde longitudinale qui a été restaurée lorsqu'on a terminé l'élargissement à la fin de 1853 et qui n'a pas reparu depuis.

Sur la proposition du directeur des travaux hydrauliques et du chef du génie, des blocs artificiels ont été employés en avant de ce petit fort pour défendre sa base. Ils ont été construits en partie sur place et en partie sur la risberme Sud, pour être transportés, après durcissement, comme ceux des musoirs.

Pour rattacher l'élargissement aux maçonneries de la branche faite depuis quelques années, on a démoli le parement Sud en pierres de taille depuis le couronnement de la plate-forme jusqu'au plan de fondation du mur sur toute la longueur de la batterie. Cette démolition a fait voir que les *maçonneries de remplissage étaient en bon état*. Les mortiers possédaient la dureté que comporte la chaux de Blosville et d'Emondeville employée dans l'eau. La couche de béton en dessous de la tablette socle présentait seule des parties faibles, qui n'auraient pu

résister à la mer si le béton n'eût été enfoui et couvert par la risberme Sud.

Toutes les maçonneries de remplissage étaient parfaitement garnies de mortier et ne contenaient pas le moindre vide. Il ne pouvait en être autrement, puisque tous les ouvrages avaient été exécutés en régie directe au compte de l'Etat par des ouvriers et avec des surveillants employés *à la journée*, qui n'avaient aucun intérêt à réduire la consommation du mortier et à exagérer celle des moellons.

Il faut dire aussi que la proportion du mortier dépensé a toujours été très-forte à la digue, et que, par crainte des malfaçons, on n'a pas cherché à la réduire. Dans toutes les grosses maçonneries de remplissage faites tant à la digue qu'à terre, avec les moellons informes provenant des carrières du Becquet ou de l'arrière-bassin, le volume du mortier employé est à peu près égal à celui des pierres.

Les travaux des soubassements des quatre forts, ceux des raccordements avec les branches, ceux des môles des petits ports et la confection des blocs artificiels comprenaient beaucoup d'ouvrages à exécuter à marée basse, qui laissaient les ouvriers disponibles pendant les hautes mers.

On a profité de cette circonstance pour continuer activement l'exhaussement définitif des deux branches et la construction du parapet. Le couronnement de la branche de l'Est sur les 1227 mètres de longueur de la muraille primitive était achevé en 1847. Celui de la branche de l'Ouest, commencé aussitôt après, se trouva terminé en même temps que tous les autres ouvrages de la digue à la fin de 1853.

Tassements observés dans les murailles des branches Est et Ouest après l'achèvement du parapet défensif vers le large. Planche 9, fig. 5.

Des tassements nouveaux furent provoqués par la surcharge des assises du couronnement ajoutées sur les deux branches, et l'on reconnut par les nivellements faits au niveau à bulle d'air qu'ils continuèrent à se produire pendant plusieurs années, mais en s'affaiblissant progressivement.

Ces mouvements, bien que très-restreints, ne sont pas encore tout

à fait terminés aujourd'hui. Ils ont été assez considérables au début pour déterminer la formation de lézardes transversales dans les maçonneries nouvelles, au-dessus de celles de la partie inférieure de la muraille, et même pour altérer sensiblement, à la branche de l'Est, l'alignement rectiligne de l'arête de couronnement du parapet, assez récemment achevé.

Les lézardes apparentes du couronnement, qui présentent une ouverture maximum de 1 à 2 centimètres, ne grandissent plus à présent. On croirait cependant, après chaque hiver, qu'il s'est fait de nouveaux tassements, à l'aspect des fissures transversales qui paraissent plus ouvertes qu'à la fin de l'été. C'est probablement la contraction et la dilatation alternatives des maçonneries dans le sens longitudinal en raison des variations thermométriques des saisons qui sont la cause de ce phénomène.

Planche 9, fig. 6. A l'exhaussement définitif de la branche de l'Ouest on a adopté dans *une certaine mesure* le système d'appareil des assises avec retraites échelonnées pour remédier aux changements de forme dus aux tassements. Mais les saillies qu'on a admises n'ont qu'une très-petite largeur, sont visibles seulement de près et ne règnent qu'à partir du plan situé environ à 1 mètre au-dessus du niveau des pleines mers. Elles ne présentent par conséquent aucun des inconvénients des retraites beaucoup plus larges qui existent au soubassement du réduit central où les arêtes de toutes les assises ont été brisées par les abordages des barques.

Ce genre d'appareil a permis de remplacer les surfaces gauches, adoptées à l'exhaussement de la branche Est, par des surfaces planes partielles dont l'exécution a été plus facile, et d'employer des pierres taillées sur le même buveau que pour les autres parties de la digue; tandis qu'à la branche Est il avait fallu modifier la coupe des pierres à chaque point selon l'inclinaison variable du parement de l'exhaussement.

On a pu arriver ainsi au parallélisme des arêtes sur la rive Nord de la muraille de la branche Ouest, avant de poser l'assise de couronnement, ce qui a permis de faire sur le même buveau la taille des grandes pierres à deux faces dont cette assise est composée dans toute la longueur de la branche.

Ces simplifications résultaient de ce que la branche Ouest avait éprouvé moins de tassements que celle de l'Est, et de ce que les sinuosités de la partie inférieure de la muraille étaient très-peu prononcées.

Détails divers sur les opérations de la digue.

L'avantage de la réduction des matériaux au plus petit nombre d'espèces et de types différents a toujours été vivement sentie dans des travaux aussi considérables que ceux de la digue.

C'est ce qui a conduit à élever les deux parements de la muraille en pierre de taille de granit, et à admettre autant que possible les mêmes hauteurs d'assises pour les deux rives.

C'est pour le même motif qu'on a adopté une seule coupe dans la taille des pierres des deux parements, bien que l'un soit incliné à un cinquième et l'autre à un vingtième.

La différence de ces deux fruits a conduit seulement à faire la première assise, posée sur la tablette-socle du côté Sud, avec des pierres démaigries à peu près au cinquième, dont le lit supérieur présente une pente transversale du dehors au dedans, laquelle se reproduit pour les lits de toutes les assises superposées.

La nécessité de simplifier la taille des pierres résultait aussi de l'obligation de faire exécuter cette main-d'œuvre dans les chantiers de l'arsenal.

On ne commença à travailler des pierres à la digue, dans une proportion un peu importante, que pour *l'exhaussement définitif* de la partie supérieure des murailles, et encore le chantier de taille ne reçut pas un grand développement, faute d'emplacement convenable. Les terre-pleins du fort central et des chemins de communi-

cation provisoires étaient insuffisants pour tous les besoins du service; les locaux disponibles pour le logement des ouvriers l'étaient encore plus.

La destination de la plate-forme supérieure des branches comme chantier de taille de pierres présentait aussi un inconvénient grave. Dans tous les coups de vent du large, les matériaux petits ou gros qui s'y trouvaient en dépôt étaient sujets à être enlevés par les vagues et jetés sur la risberme du Sud. Des blocs *équarris de* 1$^{m.c.}$,50, *pesant à l'air* 4000$^{kil.}$, *placés contre le parapet,* ont été souvent emportés par les lames qui passaient sur la digue dans les gros temps. On était obligé de les relever ensuite, au risque de les voir emportés de nouveau. Mais cependant cet inconvénient n'était pas de nature à empêcher de tirer parti de ce chantier qui permettait d'éviter des faux frais plus considérables, et qui facilitait la taille des pierres de sujétion à *buveau variable* pour le couronnement du parapet.

Les mortiers et les bétons ordinaires sans pouzzolane ou avec pouzzolane ont été préparés à terre et expédiés à la digue prêts à être employés. Dans les premières années on avait essayé d'en fabriquer à la digue même, mais on avait reconnu que les préparations sur place retardaient la confection des maçonneries, et on s'était borné bientôt à y gâcher les mortiers de pose. Plus tard ceux des blocs artificiels ont dû y être fabriqués aussi au moment de l'emploi.

Les principales préparations étaient donc faites à terre, et il ne restait plus à exécuter à la digue que la mise en œuvre proprement dite des matières confectionnées. Voici en quoi consistaient les mains-d'œuvre locales les plus importantes.

Opérations faites à la digue habituellement pendant le cours des travaux.

1° *Versement des moellons pour la formation des enrochements de base complémentaires.* Ces matériaux ont été apportés généralement par des barques à voiles et quelquefois par des chalands remorqués. La durée du versement complet de la charge d'un bateau était environ d'une heure et demie. Cette espèce d'ouvrage était payée à prix fait d'a-

près les tarifs en vigueur aussi bien pour les bâtiments des particuliers que pour ceux de l'Etat.

2° *Versement de blocs de défense sur le talus Nord de la base.* Cette opération durait environ deux heures et demie par chargement de bateau. Elle était exécutée à prix fait et payée d'après tarif comme pour les moellons. Dans le cas où les blocs devaient être versés sur la partie haute du talus, au pied même de la muraille, pour compléter la partie supérieure de la couche de défense qui n'était exécutable qu'au moment du plein de la mer en vive-eau; on adjoignait à l'équipage des bateaux quatre manœuvres auxiliaires, afin de terminer l'opération dans le court espace de temps que le bateau pouvait passer à marée haute sur ces hauts-fonds sans y échouer. Planche 4, fig. 4 et 5.

3° *Débarquement des moellons pour la maçonnerie de remplissage des assises supérieures à la deuxième.* Les équipages des bâtiments à voiles ou des chalands étaient trop faibles pour transborder tout le chargement *en une seule marée.* Aussi pour ne pas laisser échouer constamment ces navires sur la risberme, ce qui eût été pour eux une perte de temps sensible et une cause de détérioration rapide, et de plus pour les travaux une source d'embarras et de retards, on adjoignait à l'équipage un certain nombre de manœuvres auxiliaires en rapport avec le tonnage du bâtiment et la hauteur du point de débarquement.

Le nombre des manœuvres et des marins réunis était la moitié du nombre de mètres cubes massifs de charge pour un simple transbordement, à peu près à la même hauteur que le pont; mais on mettait un homme par mètre cube massif lorsqu'il s'agissait d'un déchargement à faire à la hauteur de la plate-forme de la digue.

4° *Déchargement des pierres taillées transportées à la digue dans les chalands à bigues.* Cette opération était faite par des marins ou des manœuvres employés à la journée. Elle exigeait au moins huit hommes: quatre pour virer au treuil, deux pour filer et embraquer les palans à l'aide desquels on inclinait et on relevait la fourche, et deux à la charge Planche 4, fig. 3 et 5.

dans la cale pour saisir et dégager les pierres et en faciliter la sortie.

Ces huit ouvriers suffisaient lorsqu'il n'y avait qu'à jeter les pierres par-dessus le bord, comme cela se pratiquait à flot pendant la mer haute au-dessus des première et deuxième et quelquefois même troisième assises; mais lorsque les pierres devaient être déposées sur des assises plus élevées, il fallait alors ajouter un certain nombre d'ouvriers en sus pour tirer les fardeaux à quai et suppléer à l'insuffisance de l'inclinaison de la fourche.

5° *Embarquement de pierres brutes et taillées à la digue.* Cette opération se présentait:

Pour le transport au lieu de l'emploi des matériaux taillés sur le fort central ou sur les plates-formes des branches;

Pour le relèvement des pierres de granit jetées par les vagues du haut de la muraille sur la risberme Sud;

Pour l'enlèvement des blocs de défense poussés dans l'emplacement des fondations ou du côté de la rade pendant les mauvais temps de l'hiver;

Pour le déblayement de la quantité considérable de blocs bruts qui se rencontraient dans les terre-pleins provisoires du fort central et de ses raccordements.

On employait à ces divers travaux des barques à pierres de l'Etat avant d'avoir organisé les chalands à bigues, et l'on en payait alors la main-d'œuvre d'après tarif. Mais les chalands à bigues ont été préférés à raison de leur moindre tirant d'eau, de leur plus faible capacité et de leur meilleure disposition pour l'échouage. Le nombre d'hommes nécessaires pour charger un chaland de blocs ou de pierres de granit dans une marée basse, qui comptait pour une demi-journée de travail, était de huit, dont quatre au treuil, deux à la manœuvre de la fourche et deux à la charge.

6° *Pose des caisses de défense en bois vides en avant de la couche de fondation au pied de la muraille.* Ces caisses étaient envoyées à la

digue au jour le jour dans les marées de vive eau qui permettaient d'en mettre en place. Il y avait quelquefois à les rapprocher d'assez loin, et même souvent à les prendre à flot au Sud de la risberme au moment de la marée.

Le remplissage en béton de ces caisses devait être opéré à la même marée basse que la pose, soit de jour, soit de nuit. Une circonstance qui rendait souvent l'opération pénible était la submersion habituelle de l'enrochement de base dont le dessus, arrasé à 0^m,70 au-dessus du zéro dans l'emplacement des caisses, restait couvert d'une couche d'eau de 0^m,50 de profondeur environ à marée basse, pendant l'été, dans la seule saison où ces travaux pouvaient être exécutés.

Un atelier de six ouvriers d'élite plaçait ordinairement quatre à cinq caisses en une marée, dans une heure ou une heure et demie de temps au plus, travail qui comptait pour une demi-journée avec supplément d'un quart de jour lorsqu'il avait été fait dans l'eau.

Dans les circonstances les plus favorables, le nombre des caisses posées dans une marée s'est élevé quelquefois jusqu'à huit, lorsque la superficie des enrochements se trouvait bien dressée préalablement, à la hauteur convenable.

7° *Bétonnage des assises de fondation*. Ce travail comprenait :

Le remplissage des caisses de défense,

L'arrasement de la première couche de 1 mètre de hauteur, bornée : au Nord, par les caisses de rive, et au Sud par une petite murette à pierres sèches, élevée à la main pour soutenir la risberme ;

Le remplissage entre les tablettes-socles et entre les deux premières assises de granit.

C'était l'un des ouvrages les plus importants de la digue, par les sujétions de marée basse et de beau temps qui pesaient sur lui et qui ralentissaient son exécution, à laquelle l'avancement général des travaux se trouvait subordonné.

Le moyen adopté constamment et avec succès pour l'accélérer, en

n'y employant que des ouvriers à la journée, a été de le donner à tâche par marée, en réglant le nombre d'hommes sur le temps reconnu nécessaire pour opérer le déchargement, le transport à bras et le versement du béton.

Planche 4, fig 1, 2 et 5. Il se présentait deux cas différents. Les chalands pouvaient être à flot près de la risberme Sud, ou échoués sur cette risberme.

La première position correspondait ordinairement à l'exécution de la première couche, de la tablette-socle et de la première assise. La risberme Sud, vers la rade, grossièrement dressée à $1^m,70$ environ au-dessus du zéro, se trouvait à sec pendant les basses mers presqu'à toute vive-eau, et livrait alors le passage pour le transport du béton entre les chalands et l'emplacement des fondations. Des ponts de service légers, que les chalands portaient toujours avec eux, servaient à compléter les communications.

Le second cas correspondait généralement à l'exécution de la deuxième assise; le relief de la muraille au-dessus de l'enrochement permettait d'accoster avec des précautions, pendant la mer baissante, les chalands chargés et de les échouer près du parement Sud. Ce cas se présentait même quelquefois pour le bétonnage des couches inférieures, sur les points où la grande largeur de la risberme aurait nécessité un bardage trop considérable.

Le nombre d'ouvriers affectés au déchargement d'un chaland de béton en une marée était de vingt-huit à trente-deux, savoir :

Deux piocheurs dans la cale pour ameublir le béton qui était fait souvent de la veille et embarqué au port militaire à jet de pelle du haut des quais, et qui possédait presque toujours une forte consistance au moment de l'emploi ;

Huit chargeurs partagés en deux relais qui se relevaient fréquemment pour sortir le béton de la cale, et le jeter à la pelle dans des bards à cuvette posés sur les passavants ;

Deux chargeurs sur le pont pour reprendre les parties de béton qui

étaient déposées directement sur les passavants lorsque les bards manquaient;

·Quatorze à dix-huit bardeurs, selon la *distance*, pour porter le béton à bras dans des bards à cuvette *à deux hommes*, dont la contenance comble était environ $\frac{1}{30}$ de mètre.

Un atelier ainsi composé déchargeait 12 mètres cubes de béton et les mettait en place dans une marée basse, en une heure et demie de temps environ, avec bardage à la distance moyenne de 35 mètres.

Ce travail était compté pour une demi-journée, et les ouvriers qui l'avaient fait se reposaient pendant le reste du temps qu'ils avaient de gagné.

Il eût été impossible d'exiger plus de travail. Car la vitesse avec laquelle il fallait exécuter le bétonnage pour vider les chalands dans le peu de temps disponible à marée basse occasionnait une fatigue que des hommes très-valides et dans la force de l'âge pouvaient seuls supporter, et exigeait ensuite un repos assez long.

Cette opération pénible se reproduisait d'ailleurs deux fois en vingt-quatre heures, dont une au milieu de la nuit, indépendamment de la demi-journée de travail correspondante à la haute mer de jour.

Dans ces circonstances, les ouvriers produisaient en somme une quantité d'action quotidienne qui atteignait le maximum qu'on pouvait attendre d'ateliers aussi nombreux composés au hasard.

Les jeunes gens qui n'avaient pu faire leur part dans ces tâches fatigantes étaient attachés de préférence au dressement de la superficie des enrochements en avant du bétonnage de première couche, opération qui s'exécutait à la main à basse mer de forte vive-eau, et qui demandait plus d'agilité que de force.

Les hommes âgés étaient appliqués aussi à des travaux moins pénibles : ils fabriquaient le mortier de ciment pour la pose des parements, et servaient les maçons-poseurs, parmi lesquels se trouvaient aussi

un certain nombre d'anciens ouvriers qu'on détournait rarement de leur travail habituel pour les affecter au bétonnage.

Le nombre des chalandées (de 12 mètres cubes l'une environ) de béton, versées à chaque marée basse aux fondations de la branche de l'Ouest, était de douze à seize dans la saison favorable. Elles étaient placées le plus près possible du lieu d'emploi et rangées sur deux files serrées; celles de la première ligne servaient de passage pour accéder à celles de la seconde.

L'animation générale qui existait sur le chantier au moment du versement du béton, et particulièrement le va-et-vient de la multitude de bardeurs qui se croisaient sans encombre, et qui venaient converger au point de déchargement dans un espace très-restreint, présentaient l'aspect le plus remarquable et le plus caractéristique des travaux de la digue.

Planche 4, fig. 4, 5. 8° *Déchargement du mortier pour la maçonnerie de remplissage des assises supérieures à la deuxième.* Ici, il n'était plus nécessaire d'agir avec autant de célérité que pour le bétonnage des fondations. Mais comme cette opération était encore une des plus fréquentes et des mieux déterminées, on la donnait aussi à tâche par marée, ou, plus exactement, par demi-journée toutes les fois que cela était possible.

On affectait douze hommes au déchargement d'un chaland, quand il n'y avait qu'à mettre le mortier à quai, à peu près à la hauteur du pont. Il fallait quatre hommes de plus lorsque le déchargement devait être fait sur les assises supérieures.

Dans ce dernier cas, il était nécessaire le plus souvent d'installer un échafaudage volant à mi-hauteur entre le pont et le dessus de la muraille. Cet échafaudage était formé simplement avec un des petits ponts de service des chalands, que l'on suspendait contre le parement à l'aide de cordes retenues sur le haut du mur par des pierres de taille ou des amas de moellons.

Planche 4, fig. 5. 9° *Exécution des maçonneries ordinaires de remplissage.* Huit ma-

çons, rangés en file sur le travers de la muraille, mettaient en œuvre une chalandée de mortier dans une marée, ou demi-journée. Il fallait pour les servir quatre manœuvres à charger le mortier dans les bards à cuvette, huit à barder et à jeter le mortier sur les levées devant les maçons, et six en moyenne à rapprocher le moellon derrière eux.

En tenant compte de la mise à quai préalable du mortier et des moellons, le nombre total de journées d'ouvriers nécessaires pour dépenser une chalandée de mortier se trouvait à peu près double de ce qu'il fallait pour une chalandée de béton. Mais le volume de travail produit était double aussi, parce qu'il entrait autant de mortier que de moellon dans les maçonneries de remplissage.

Le temps et le prix de la mise en œuvre à la digue étaient donc sensiblement les mêmes par mètre cube de l'une et de l'autre espèce d'ouvrages. Cependant on a préféré le béton au mortier pour les assises en contre-bas du niveau des basses mers de morte-eau, parce que l'emploi de cette matière pouvait être poussé avec la plus grande rapidité sans crainte de malfaçons, tandis que la maçonnerie n'aurait pas comporté à beaucoup près la même célérité dans l'exécution.

A l'époque de la plus grande rapidité des travaux, la consommation du mortier s'élevait à huit chalandées par marée, ou à vingt-quatre par jour de la capacité de 12 mètres cubes chacune, en comprenant les basses mers du jour et de la nuit et la haute mer du jour.

Le travail de maçonnerie ordinaire, exécuté en morte-eau, était à peu près l'équivalent en volume de celui fait pendant les vives-eaux où l'on mettait en œuvre au maximum seize chalandées de béton pendant la basse mer de jour, autant pendant celle de nuit, et sept à huit chalandées de mortier pendant la haute mer de la matinée, lorsque le personnel conservait la même importance.

10° *Pose des pierres taillées.* Elle était exécutée par six à sept ateliers distincts, composés chacun de quatre maçons poseurs dont un chef, servis par un goujat et aidés souvent par quatre bardeurs pour le rap- Planche 4, fig. 3 et 5.

prochement des pierres. Chaque atelier de pose ainsi organisé mettait en place et garnissait en mortier de ciment une dizaine de pierres par marée ou demi-journée, dans les assises de hauteur ordinaire. Les pierres de sujétion du couronnement exigeaient une main-d'œuvre plus longue.

Un atelier de pose ne plaçait ordinairement en une journée (marée de nuit non comprise), que :

Quatre à cinq pierres à deux parements de $0^m,80$ de hauteur au couronnement du parapet du côté du large;

Six à huit tablettes de $0^m,50$ de hauteur au couronnement de ce même parapet du côté du Sud;

Et huit à dix au bord de la plate-forme sur la rive de la rade.

La pose des petites assises du parapet s'élevait au contraire à une trentaine de pierres par brigade et par jour, sans le secours de bardeurs auxiliaires.

La façon du dallage en granit de la plate-forme demandait par mètre courant une journée de quatre maçons et d'un goujat, lorsque l'approvisionnement des dalles était suffisant, et qu'on pouvait assortir les rangées sans pratiquer trop de retailles.

11° *Taille des pierres à la digue.* Cette main-d'œuvre était payée comme à terre à prix fait, à la tâche individuelle, d'après tarif, avec augmentation de $\frac{1}{10}$ sur les prix qui étaient accordés pour les mêmes ouvrages exécutés dans les chantiers de l'arsenal.

Les dérasements sur les assises, les façons de crossettes pour corriger les irrégularités des tassements, la retaille des pierres avariées à l'embarquement ou au débarquement occupaient toujours une portion notable du personnel peu nombreux dont cet atelier se composait à la digue.

Détails sur les mains-d'œuvre de confection des blocs factices de vingt mètres cubes en volume.

La confection des blocs artificiels en maçonnerie de ciment pour la défense des enrochements de base des forts comprenait spécialement les mains-d'œuvre suivantes :

1° *Déchargement des moellons.* On les versait à mer haute directe-

ment sur les risbermes, à proximité du lieu d'emploi. Une portion de ces moellons servait à garnir et à dresser le sol du chantier, et même à exhausser la risberme Sud dans les parties trop basses. Ces matériaux provenaient des extractions de rocher à l'arrière-bassin du port militaire.

La consommation a été à peu près de 24 mètres cubes massifs par bloc, dont moitié environ pour le bloc même, et moitié pour les risbermes. La main-d'œuvre de déchargement des moellons était faite d'après tarif par les équipages des barques à voiles qui transportaient ces matériaux du port militaire à la digue.

2° *Déchargement et rapprochement du sable.* Tantôt le sable était livré directement à la digue, et débarqué aux frais du fournisseur; tantôt, au contraire, il fallait en faire venir du port militaire dans des chalands remorqués par le bateau à vapeur de service; il était alors débarqué par les ouvriers de la Marine.

Mais, dans le premier cas, il y avait presque toujours nécessité de rapprocher le sable à pied d'œuvre au moment de l'emploi, soit à l'aide de tombereaux à bras, soit même en le réembarquant dans des chalands, et la main-d'œuvre se trouvait au moins aussi considérable que dans le second cas.

3° *Déchargement du ciment.* Cette matière provenait toujours de l'approvisionnement en magasin au nouvel arsenal. L'insuffisance des locaux d'abri à la digue empêchait d'y faire de grands dépôts de ciment et obligeait à faire venir cette matière au jour le jour. Il était amené dans des chalands remorqués.

Les sables et les ciments étaient débarqués pendant la haute mer, sur le haut des murailles, pour la fabrication des blocs sur la risberme du Sud et autour des musoirs. Les mortiers étaient ensuite confectionnés à basse mer au moment de l'emploi, sur les plates-formes supérieures des branches ou sur les soubassements des forts, et dirigés vers le bas au moyen de coulisses.

Au lieu d'élever les matières premières au niveau des plates-formes supérieures et de les redescendre ensuite à l'état de mortier, il semblerait qu'il eût été plus rationnel de faire toutes les préparations au niveau des blocs pour éviter cette double main-d'œuvre.

Mais la première méthode offrait une garantie certaine de bonne manipulation par les remaniements qu'exigeait le rapprochement du mortier, tandis que la seconde aurait souvent donné lieu à des malfaçons par l'imperfection du corroyage. Il n'y avait donc pas à hésiter entre les deux procédés, surtout pour les blocs qui devaient subir un transport ultérieur.

Il a fallu cependant corroyer les mortiers d'un certain nombre de blocs sur les talus des musoirs, principalement au fort de l'Est dont le soubassement, livré au Génie militaire, n'était plus à la disposition de la Marine.

Les sables et les ciments contenus dans des chalands placés à proximité étaient dans ce cas déchargés au moment de la basse mer sur le dessus des blocs déjà posés, qui servait d'aire pour la manipulation. Il était nécessaire d'apporter alors beaucoup plus de soin dans le corroyage, et il fallait d'ailleurs un bien plus grand nombre d'ouvriers au moment de la basse mer pour suffire à tout, ce qui était encore un inconvénient assez grave. Aussi on n'a fait de cette manière que les blocs qu'il était presque impossible de confectionner autrement.

4° *Dosage des mortiers, corroyage et rapprochement du mortier.* Il fallait confectionner le mortier par quantités considérables à la fois pour fournir aux dix ou douze maçons employés à la construction de chaque bloc. La quantité de ciment qu'on gâchait à chaque *batterie* était généralement de la contenance d'un baril de 300 à 350 kil.; mais lorsque le temps était trop chaud et trop sec et le ciment frais, on n'en mettait que la moitié.

On formait un tas de sable circulaire en couronne au milieu duquel

on mettait le ciment qu'on répartissait ensuite à la pelle sur tout le parcours intérieur du sable en mélangeant grossièrement les deux matières. On versait au milieu les quantités d'eau *de mer* nécessaires et on gâchait le tout avec des rabots et des pelles à la façon des mortiers ordinaires.

Tous les ciments employés de cette manière ont donné de bons résultats.

5° ***Rapprochement des moellons, préparation et dressement du sol dans l'emplacement des blocs.*** Ces ouvrages variaient selon l'état primitif des risbermes et le degré de précision apporté au versement des moellons à marée haute sur les points où le travail devait avoir lieu.

6° ***Maçonnerie des blocs.*** On a dit précédemment qu'il était inutile de s'attacher à faire des parements parfaitement dressés. On se bornait à smiller grossièrement quelques moellons, pour monter à peu près régulièrement les arêtes verticales des blocs isolés. Les soins importants étaient de bien maçonner à bain de mortier refluant de toutes parts autour des moellons, et d'employer toujours le mortier avant sa prise sans le retravailler pour le ramollir. Planche 5. Planche 6. Planche 7.

Toutes les mains-d'œuvre de manœuvrage variaient un peu d'un jour à l'autre, selon la position particulière de chaque bloc et les positions où les matières premières étaient déposées. Elles s'élevaient en moyenne à soixante journées de manœuvres par bloc de vingt mètres cubes.

La main-d'œuvre de maçonnerie était constante. Il fallait dix journées de maçons pour confectionner un bloc jointif aux autres sur les talus des forts, et douze jours pour un bloc isolé qui devait être transporté ultérieurement.

Ces indications sur la main-d'œuvre des principaux ouvrages exécutés à la digue ne doivent être considérées que comme des *moyennes* déduites des cas les plus ordinaires. Il y avait des différences quelque-



fois considérables d'un jour au suivant, d'un point à un autre, selon les facilités plus ou moins grandes du débarquement et du rapprochement des matériaux, selon l'état du travail fait antérieurement, la durée de la marée et une foule de circonstances locales qui exigeaient chaque fois une appréciation particulière.

Le caractère spécial des travaux résidait dans la variabilité continuelle des occupations, et dans les déplacements fréquents des travailleurs qu'il fallait à plusieurs reprises porter d'un point sur un autre, d'après la hauteur variable de la marée.

Pour atténuer le plus possible les inconvénients de cette sujétion, on réglait les intermittences de travail et de repos moins sur l'heure du jour que sur les mouvements de la mer; mais on ne pouvait éviter au moins trois remaniements généraux de l'organisation de tout le chantier chaque jour, dont deux aux marées basses du jour et de la nuit, et l'autre à la haute mer du jour, indépendamment des mutations partielles qu'exigeaient à chaque instant le déchargement des matériaux sur un grand nombre de points et l'exécution de tous les ouvrages accessoires.

Désignation du personnel entretenu et non entretenu affecté à la surveillance des travaux de la digue.

La tâche pénible et sans relâche qu'un tel service imposait aux conducteurs a été dignement remplie par les employés à qui le directeur avait confié d'aussi importantes fonctions.

M. La Mesle (Jean-Louis) qui avait remplacé M. le conducteur Le Mignon comme conducteur principal en 1839, a occupé ce poste avec distinction jusqu'en 1849, et a toujours fait preuve de zèle, de capacité, et, on peut le dire, de dévouement.

M. Livois (Augustin) (1), qui a servi en sous-ordre à la digue depuis 1840, et qui a remplacé M. La Mesle comme conducteur principal, a apporté en outre dans l'exercice de ses fonctions une énergie de vo-

(1) MM. La Mesle et Livois ont été tous deux décorés de la Légion d'honneur pour leurs services éminents à la digue.

lonté et une ardeur au travail auxquelles on peut attribuer une grande part des succès obtenus.

Il est juste de citer après eux le conducteur Beaumont, qui s'est toujours fait remarquer aussi par son aptitude pour les travaux et par un zèle infatigable.

Deux autres conducteurs étaient attachés au service de la digue.

L'un avait dans ses attributions la surveillance et la comptabilité élémentaire du transport des matériaux par mer, et les opérations relatives au matériel flottant.

L'autre, qui était chargé des ateliers de taille de pierres, de charpente et de forge, participait en outre à la surveillance générale des travaux de maçonnerie et de manœuvrage de jour et de nuit.

Un commis de la direction était chargé de faire les appels, et tenait le rôle des journées de présence des ouvriers. Il avait aussi à exercer la surveillance des opérations de la *cantine* des ouvriers, et particulièrement à vérifier l'exactitude des comptes de dépenses à crédit, faites par les ouvriers sous la garantie de la direction, et cautionnées sur les salaires.

Deux écrivains étaient chargés de la conservation et de la comptabilité des matières, apparaux, ustensiles et outils, et du mobilier en service à la digue.

Un employé spécial fut ajouté au gardiennage et à la délivrance des matières, seulement à la suite de l'organisation du corps des comptables.

Un troisième écrivain était spécialement chargé de dresser les états et les plans de situations des ouvrages.

Une quinzaine de surveillants et de contre-maîtres étaient indispensables pour suivre les escouades d'ouvriers dans les différentes opérations.

Ces employés formaient trois catégories distinctes: celle des transports par mer et des opérations maritimes, celle des maçonneries et celle des manœuvrages.

Les patrons de canots, au nombre de quatre, veillaient à l'arrivage

des chalands chargés, à leur amarrage sur les bouées auprès de la digue, à leur accostage sur les points où les matières devaient être employées, et à leur renvoi après qu'ils étaient vides.

Une escouade de vingt-cinq à trente ouvriers marins fournissait des équipages pour l'armement des canots nécessaires aux différentes parties du service, et exécutait les travaux spéciaux qui exigeaient une certaine pratique de la mer. On employait ces hommes comme manœuvres aux travaux ordinaires, à défaut d'occupations de leur métier.

Trois ou quatre ouvriers à bois et deux à fer exécutaient à la digue les réparations d'outils et d'autres menus ouvrages.

Un atelier d'une trentaine de tailleurs de pierres était employé aux dérasements, aux ragréements sur les diverses assises, à la retaille des pierres défectueuses, et à la taille d'une partie des matériaux pour l'exhaussement ou le couronnement des branches. Ces ouvriers étaient les seuls à la digue qui travaillassent à tâche d'après tarif.

L'atelier de maçonnerie comprenait deux sections :

La première, celle des *poseurs*, se composait de vingt-cinq à trente hommes.

La seconde, celle des maçons ordinaires, variait de soixante à soixante-dix.

Les ouvriers de cette dernière catégorie ne faisaient ordinairement que de la maçonnerie de remplissage dont l'exécution ne présentait aucune difficulté. Quelques-uns d'entre eux étaient employés au dallage de la plate-forme des deux branches, concurremment avec les poseurs.

Pendant les premières années des travaux, il fallait renvoyer presque tous les maçons au port chaque hiver, et même en congédier une partie. Mais lorsqu'on eut entrepris les parties hautes des murailles et les ouvrages définitifs du fort central, des petits ports, ainsi que la confection des blocs artificiels, il fut possible alors de conserver constamment les maçons à la digue, en hiver comme en été.

On en vint même au point de les y retenir pendant les coups de

vent du large, pour éviter les pertes de temps et les faux frais qui résultaient toujours de la désorganisation temporaire des chantiers.

L'effectif des manœuvres était la partie la plus variable du personnel.

Avant les dernières années, il était réglé en été de manière à former un total de six à sept cents hommes avec les ouvriers de toutes les autres professions, maximum que ne permettaient de dépasser ni la disposition des chantiers, ni la capacité des logements disponibles au fort central, ni les ressources de la localité. En hiver, c'est sur cette partie du personnel que portaient principalement les réductions.

Quatre gardiens veillaient à tour de rôle jour et nuit pour prévenir en cas d'accident, et pour avertir, à toutes les heures de la nuit qui leur étaient indiquées à l'avance, les employés et les brigades qui étaient chargés d'exécuter des travaux quelconques. Ils avaient en outre dans leurs attributions le nettoyage du fort central, l'allumage des réverbères dans les logements des ouvriers, etc.

D'autres gardiens, dits commissionnaires, environ au nombre de quinze, étaient attachés au service *personnel* des employés de tous grades.

L'un d'eux était chargé de la correspondance entre la digue, le port et le bateau à vapeur de service, pour la transmission par signaux des ordres relatifs à l'expédition des matières et des objets quelconques nécessaires aux travaux.

Les autres confectionnaient des tourteaux de vieux cordages trempés dans du goudron pour l'éclairage des travaux de nuit, dans les intervalles de temps que leur laissait leur service particulier. Ils étaient secondés dans ce travail par les ouvriers blessés ou convalescents qui avaient besoin pour quelques jours d'occupations peu fatigantes.

Le personnel qui concourait à l'exécution des travaux comprenait en outre :

Les marins embarqués sur les barques à voiles des particuliers et du gouvernement;

Ceux des bateaux à vapeur et des chalands;

Ceux de l'atelier de la garniture au nouvel arsenal, où s'effectuaient la préparation des objets de gréement et les opérations matérielles d'armement et de désarmement;

Les charpentiers-calfats et autres, travaillant au nouvel arsenal à la crique du Homet aux réparations du mobilier flottant;

Les tailleurs de pierres du chantier de l'arsenal;

Les journaliers occupés à la préparation et à l'embarquement des mortiers, bétons et autres matières à destination de la digue;

Les manœuvres affectés aux extractions de matériaux;

Ses voituriers pour les transports par terre, etc.

Le nombre des contre-maîtres et des marins composant l'atelier de la garniture et les équipages de tous les chalands et des bateaux à vapeur réunis était environ de cent vingt, non compris les équipages des chalands à bigues qui faisaient partie du personnel de la digne.

Les bateaux à vapeur *le Rapide* et *l'Actif*, auxquels pendant les dernières années avait été ajouté *le Var*, de la force de cinquante chevaux, étaient conduits par deux capitaines, trois mécaniciens, et deux seconds maîtres.

La recette, l'emmagasinage et les manipulations des chaux, ciments et pouzzolanes, la préparation des mortiers et des bétons, l'embarquement de ces matières et des pierres taillées et autres objets destinés à la digue, formaient à terre le service d'un atelier important sous les ordres d'un conducteur spécial, M. Defer (François) [1], aidé de quelques surveillants et contre-maîtres.

Mais cet atelier, de même que celui de la taille des pierres, avait à satisfaire aux demandes de tous les chantiers de l'arsenal en même

[1] M. Defer (François), dont l'intelligente prévoyance et la constante sollicitude avaient assuré, pendant dix-sept ans, toutes les relations entre l'arsenal et la digue, et les mouvements des bateaux à vapeur et embarcations de tout genre, a été également décoré de la Légion d'honneur.

temps qu'à celles de la digue. La composition du personnel et la nature des travaux ne présentent donc aucun intérêt particulier.

Le mobilier flottant de la direction affecté au service de la rade, et presque exclusivement à celui de la digue, se composait en 1847, à l'époque de la plus grande activité,

De quatorze bateaux à blocs et à moellons,

De quarante-huit chalands ordinaires ou à bigues,

De soixante-dix canots et péniches,

De onze chalands de Saint-Servan,

Du bateau à bascule,

Et d'un ponton pour la manœuvre de la cloche à plongeur qui n'a jamais servi à la digue,

Le tout représentant une valeur d'environ 1,200,000 fr. à l'état du neuf.

Cette somme ne comprend pas les bateaux à vapeur remorqueurs qui n'étaient que prêtés à la direction, à charge d'entretien, pendant la durée des travaux de la rade, et qui appartenaient toujours à la flotte.

Avec ces moyens d'exécution, et un personnel de six à sept cents ouvriers résidant sur la digue en été, réduit à deux cents ou deux cent cinquante en hiver, on pouvait exécuter, année commune, l'équivalent de 300 mètres au moins de muraille *complète*, depuis le sol de fondation jusqu'au couronnement du parapet, avec les enrochements complémentaires de la base sous-marine correspondante, et le recouvrement du talus du large en blocs *naturels* de défense.

La dépense annuelle en rapport avec cet avancement était environ de 1,800,000 fr. Ce chiffre est à peu près la moyenne des quatre années les plus considérables, qui ont été celles de 1845 à 1848. Le maximum a été atteint en 1847, et a dépassé 2 millions. Dépenses d'exécution.

La dépense totale depuis la reprise des travaux en 1830 jusqu'à leur achèvement, à la fin de 1853, s'est élevée à 28,038,455 fr., répartis à peu près de la manière suivante:

Branches de l'Est et de l'Ouest (une long[r] totale de 3,059 mèt.).	20,869,367 fr.
Soubassements du fort central et de la batterie d'enveloppe, raccordements avec les branches de l'Est et de l'Ouest, et petits ports près de ces raccordements.	1,801,655
Soubassements des forts des musoirs de l'Est et de l'Ouest, raccordements avec les branches et petits ports des musoirs. .	4,993,061
Soubassement du fort intermédiaire de la branche de l'Ouest.	374,372
Total égal.	28,038,455 fr. (A)

Il est entré dans la construction de ces ouvrages 700,000 mètres cubes massifs d'enrochements *complémentaires* pour la base sous-marine des deux branches, des musoirs et des petits forts, à 6 fr. le mètre cube massif, en moyenne.	4,200.000 fr.
222,000 mètres cubes massifs de blocs naturels de défense pour les talus Nord des bases des branches et des musoirs, à 12 fr. le mètre cube massif, en moyenne.	2,664,000
41,160 mètres cubes de blocs artificiels en maçonnerie de ciment pour les talus extérieurs des musoirs et de la batterie intermédiaire, à 55 fr. le mètre cube.	2.263,800
410,000 mètres cubes de muraille (y compris parements en granit) pour la construction des deux branches avec parapet, des raccordements des forts, des soubassements de ces forts jusqu'à 2 mètres au-dessus des plus hautes mers, et des môles des petits ports, à 45 fr. le mètre cube.	18,450,000
Déblais nécessaires à la construction du mur d'enveloppe définitif du fort central et des raccordements avec les branches dans l'emplacement des chemins de communication provisoire; remblais dans l'intérieur des soubassements des forts extrêmes ; démolitions du parement Sud de la muraille et déblais de la risberme dans l'emplacement de la batterie intermédiaire; en somme.	460,655
Total égal.	28,038,455 fr.

Le détail de la somme (A) tel qu'il ressort des dépouillements des comptes d'opérations donne une dépense bien moindre pour les forts que pour les branches par unité d'ouvrages. Si on calculait les dépen-

ses d'après les cubes réels et avec les mêmes prix *moyens* on trouverait les résultats ci-après :

POUR LES BRANCHES.

Prix de 1 mètre courant :

180 mètres cubes massifs d'enrochements complémentaires, à 6 fr. le mètre cube	1,080 fr.
$63^{m},95$ de blocs naturels de défense, à 12 fr.	765
100 mètres cubes de muraille, à 45 fr.	4,500
Total par mètre courant	6,345 fr.
$3059^{m},27$ de longueur des deux branches réunies, à 6,345 fr. le mètre	19,411,680 fr.

POUR LES QUATRE FORTS, LEURS RACCORDEMENTS ET LES PETITS PORTS :

150,000 mètres cubes massifs d'enrochements complémentaires, à 6 fr.	900,000 fr
26,860 mètres cubes massifs de blocs naturels de défense, à 12 fr.	322,320
104,000 mètres cubes massifs de muraille, à 45 fr.	4,680,000
41,160 mètres cubes massifs de blocs artificiels en maçonnerie de ciment, à 55 fr.	2,263,800
Déblais, remblais et démolitions, comme précédemment	460,655
Total	8,626,775 fr.

On trouverait de même, d'après les comptes d'application, en séparant les dépenses de la branche Ouest de celle de l'Est, que celle-ci a coûté proportionnellement beaucoup plus cher que l'autre.

Des différences dans le même sens se sont manifestées, pour ainsi dire, d'année en année dans les phases successives de l'exécution des travaux.

Elles s'expliquent facilement : par la proportion plus grande des dépenses d'installation et d'acquisition de mobilier pendant les premières années ; par l'accroissement progressif de la quantité des ouvrages exécutables au-dessus du niveau des basses mers ; par la diminution des avaries résultant de circonstances plus favorables et de l'expérience acquise dans l'exécution des travaux ; par la réduction des

frais généraux obtenue en améliorant l'organisation du service; enfin par la diminution proportionnelle des dépenses accessoires et des frais généraux par suite de l'accroissement des crédits annuels.

D'ailleurs, il ne faut pas perdre de vue qu'on travaillait simultanément aux diverses parties de la digue, tant à la digue même qu'à terre, dans les chantiers de préparation des matériaux; ce qui ne permet pas de penser que les dépenses journalières ont toujours été réparties d'une manière conforme à l'application effective des matières et de la main-d'œuvre aux travaux. L'ensemble offre seul une exactitude incontestable.

Les prix d'unité applicables aux enrochements complémentaires de la base et aux blocs de défense sont déduits des prix moyens des matériaux embarqués, et de l'application du tarif des transports par mer, en tenant compte en outre de la surveillance des opérations de versement à la digue, ainsi que des dépenses accessoires et de la petite partie des frais généraux qui se rapportent à cette nature d'ouvrage.

Il a été facile aussi de déterminer avec exactitude le prix des blocs artificiels en maçonnerie de ciment dont la fabrication, toujours uniforme, a été l'objet d'attachements suivis.

Ce prix se compose de la manière suivante :

1^{m},00 massif de moellons, provenant des carrières de l'arrière-bassin, transporté sur les quais de l'arsenal, exploitation non comprise.		1 fr. 50 c.
1^{m},00 massif de moellons, embarqué, transporté par mer et versé à la digue :		
Salaires de l'équipage.	1 fr. 26 c.	2 50
Entretien du bateau.	1 24	
Somme.		4 fr. 00 c.

Il entre 10^{m},00 massifs dans la construction d'un bloc de 20 mètres cubes ; mais pour tenir compte des déchets à l'embarquement, au débarquement et à la mise en œuvre, et pour avoir égard aux rechargements qu'il a fallu exécuter sur le sol du chantier de fabrication, on doit compter 20 mètres cubes massifs de moellons par

bloc de 20 mètres cubes, à 4 fr. l'un.		80 fr. 00 c.
1 mètre cube de sable déposé dans l'arsenal.	3 fr. 05 c.	
Idem, transporté par terre et embarqué dans un chaland.	1 45	
Somme.	4 fr. 50 c.	
Il entre 10 mètres cubes de sable dans un bloc de 20 mètres; mais il faut en compter 12 pour tenir compte des pertes dans le transport et des avaries à la digue, lesquels à 4 fr. 50 c. font.		54 00
CIMENT.		
Chaque bloc de 20 mètres a exigé 5 tonneaux 70 de ciment Médina à 78 fr. 90 c. le tonneau, ou 6 tonneaux de Portland à 83 fr. 50 c., ou plus généralement 1 tonneau 70 de Médina et 4 tonneaux 25 de Portland, ce qui fait en moyenne, et en ajoutant 2 fr. par tonneau pour frais de recette, transport dans l'intérieur de l'arsenal et embarquement, une somme par bloc de.		491 38
TRANSPORTS PAR MER DU SABLE ET DU CIMENT.		
11m,11 massifs de matières remorqués à la digue à 15 fr. le mètre cube massif.		166 65
Déchet et pertes à l'emploi et par avaries.		48 00
Frais généraux.		46 50
MAIN-D'ŒUVRE A LA DIGUE.		
Toutes les mains-d'œuvre réunies dans la notice.		130 00
Total pour un bloc, construit sur les risbermes des forts.		1,016 fr. 53 c.
TRANSPORT DES BLOCS APRÈS CONFECTION ET DURCISSEMENT.		
Un bloc de 20 mètres cubes suspendu entre les chalands jumelés pèse immergé 26,000 kil., ce qui correspond à 10 mètres cubes massifs, lesquels à 15 fr. font.		150 fr. 00 c.
Dépense supplémentaire en salaires d'équipages et apparaux de suspension.		16 93
Total pour un bloc construit sur la risberme Sud et transporté au Nord.		1,183 fr. 46 c.
Prix moyen des blocs des deux catégories.		1,100 fr. 00 c.

ce qui correspond à 55 fr. par mètre cube.

En défalquant de la dépense totale, faite depuis 1830, les sommes qui se rapportent aux enrochements complémentaires et aux blocs naturels et artificiels de défense, ainsi que celles qui ont été appliquées aux grands déblais et remblais exécutés en contre-haut du niveau des basses mers aux divers forts, on trouve un reste égal à 18,450,000 fr. représentant la valeur des divers ouvrages d'art dont le cube total est de 410,000 mètres, ce qui correspond à un prix de 45 fr. par mètre cube.

Dans l'évaluation du cube des murailles on a supposé que le volume d'un mètre courant de la longueur des branches était de 100 mètres cubes. Le profil type ne donne pas tout à fait autant; mais la différence représente les tassements qui se sont produits en cours d'exécution avant la pose du couronnement.

La dépense de la *muraille proprement* dite s'est donc élevée à 4,500 fr. en moyenne par mètre courant.

Il serait difficile de décomposer ce prix dans ses divers éléments avec exactitude. Les variations qu'a subies la valeur des matières et de la main-d'œuvre, les conditions diverses qui se sont présentées dans le cours de l'exécution et la complication des prix de revient particuliers des matières et objets préparés dans divers ateliers du port qui coopéraient à d'autres travaux que ceux de la digue ne permettent pas de donner un sous-détail rigoureusement exact. Celui qui suit ne doit être considéré que comme une moyenne générale approximative :

SOUS-DÉTAIL DU PRIX DE 1 MÈTRE COURANT DE MURAILLE.

(Non compris enrochements sous-marins.)

Maçonnerie de granit en pierres de taille, garnie avec mortier de ciment pour fournitures, transport par terre, embarquement et débarquement, bardage et pose : 16 mètres cubes massifs à 51 fr.	816 fr.	00 c.
Transport par mer du granit taillé, 16 mètres cubes à 15 fr. . .	240	00
Taille des parements vus en granit et dérasement ; 27 m.car., 50 à 12 fr.	330	00
A reporter. . .	1,386 fr.	00 c.

Report. . .	1,386 fr.	00 c.
Tablette-socle en pierres du Becquet pour fourniture, taille, transport par mer et pose; 2 mètres courants à 5 fr.	10	00
Béton ou maçonnerie en mortier de chaux hydraulique, quelquefois avec addition de pouzzolane artificielle, pour le remplissage des caisses de la rive Nord des fondations, pour l'arasement de la première couche, ainsi que des tablettes-socles et des deux premières assises (y compris fournitures, confection, transport par terre, embarquement et débarquement, bardage et mise en œuvre à la digue à marée basse), 30 mètres cubes à 17 fr..	510	00
Transport par mer du béton, 30 mètres cubes à 15 fr.	450	00
Maçonnerie en mortier de chaux hydraulique, quelquefois avec pouzzolane artificielle, pour l'arasement de toutes les assises supérieures à la deuxième (fournitures, main-d'œuvre, etc.), 53 mètres cubes à 16 fr. 50 c.	874	50
Transport par mer du mortier dans les chalands remorqués, et transport des moellons, partie dans les chalands et partie dans les barques à voiles pour l'exécution des maçonneries de remplissage au-dessus de la deuxième assise, 53 mètres cubes à 9 fr. (prix moyen).	477	00
Maçonnerie de mortier de ciment en couches minces et pour d'autres emplois accidentels (idem), 1 mètre cube à 50 fr.	50	00
Calfatage provisoire des joints et rejointoiements en ciment; 20 mètres carrés à 1 fr. (idem).	20	00
Caisses en bois de sap pour la bordure Nord de la couche de fondation, matières et main-d'œuvre réunies, avec transport par terre et par mer, et mise en place; 0 stère 40 à 100 fr.	40	00
Main-d'œuvre de dressement du dessus des enrochements de base au-dessous des caisses et de la muraille, et façon de la petite murette de soutènement de la risberme Sud.	5	00
Un goujon de bronze.	7	00
1/50 d'un canon d'amarrage en fonte de fer, matière et pose. . .	30	00
Part proportionnelle des frais généraux.	189	50
Avaries.	451	00
Total.	4,500 fr.	00 c.

Ces prix comprennent la valeur des déchets et pertes par accidents quelconques, les frais de surveillance et de gardiennage, ceux d'éclairage pour les travaux de nuit, en un mot toutes les dépenses accessoires et tous les faux frais ordinaires et ceux résultant de la situation exceptionnelle des ouvrages de la digue.

Dans ce prix figure une somme de 15 fr. pour le transport d'un mètre cube massif de matériaux dans les chalands remorqués par les bateaux à vapeur.

Cette somme comprend les salaires des chalandiers et des équipages des bateaux à vapeur, les dépenses d'entretien et de renouvellement des chalands et celle du fonctionnement des remorqueurs.

Dépenses totales depuis l'origine des travaux en 1783 jusqu'à leur achèvement au 31 déc. 1853.

Reprenons le chiffre de la dépense faite depuis 1830.	28,038,455 fr.
Ajoutons les dépenses faites depuis 1803 jusqu'à 1830.	7,828,819
et celles antérieures à 1803, dont le montant, d'après les indications de M. Cachin, s'élève en bloc à.	31,000,000
nous aurons pour toutes les dépenses appliquées à la construction de la digue un total de.	66,862,274 fr.
En divisant cette somme par la longueur totale de la digue, qui est de 3,712 mètres *d'une passe à l'autre*, mesurée au pied des enrochements, on trouve que le mètre courant ressort à.	18,000 fr.

(Y compris les soubassements des forts et batteries, et les petits ports de refuge.)

Ces derniers chiffres ne sont produits qu'à titre de renseignement *historique* et non comme indiquant la valeur intrinsèque des ouvrages exécutés. Ils sont surchargés :

1° De dépenses en pure perte faites pour la construction de dix-huit cônes employés à la première formation de la digue (de 1783 à 1791), sous la direction de M. de Cessart;

2° De celle des pierrailles qui ont été versées inutilement sur les points où la risberme Sud présente aujourd'hui un excédant de largeur, tant dans l'emplacement des cônes eux-mêmes que dans leurs intervalles;

3° Des sommes considérables appliquées de 1803 à 1814, sous la direction de M. Cachin; à l'exécution toujours compromise de la batterie centrale et de ses prolongements Est et Ouest, élevés en blocs à pierres sèches au-dessus du niveau des hâutes mers; à l'exécution de la batterie provisoire d'enveloppe, de 1823 à 1824;

4° Des dépenses pour divers travaux accessoires exécutés à terre autrefois et payés sur les fonds de la digue sans avoir eu un rapport *direct* avec cet établissement.

La valeur *absolue* n'est pas supérieure à 50 millions de francs, somme qui représente approximativement ce que coûterait *aujourd'hui* la construction d'un ouvrage identique, malgré l'élévation des prix actuels, mais en profitant de l'expérience acquise dans la première exécution.

La dépense spéciale aux transports par mer à la digue a été en moyenne de 38 pour 100 de 1830 à 1854.

Moyennant la dépense totale précitée, on est parvenu à créer à Cherbourg une rade excellente, abritée contre tous les vents, sur laquelle les navires sont en sûreté et trouvent une tranquillité complète dans les plus mauvais temps.

Grâce à ses deux passes, elle est praticable en tout temps pour l'entrée et la sortie par bâtiments à voiles.

Le calme obtenu depuis que la digue est élevée dans toute sa longueur au-dessus du niveau des hautes mers est beaucoup plus parfait qu'on ne l'avait espéré. Il est tel que les embarcations non pontées peuvent toujours naviguer en rade, à l'exception peut-être de trois ou quatre jours par an. Aussi tous les marins s'accordent à déclarer que la rade de Cherbourg est une des plus faciles, des plus sûres et des plus belles qui existent.

Capacité de la rade de Cherbourg.

Elle ne laisse à désirer peut-être que sous le rapport de son étendue.

De tout temps des opinions contradictoires se sont élevées sur sa capacité, et des appréciations qui différaient de douze à soixante pour

le nombre des vaisseaux de premier rang qu'on pouvait y mouiller ont été formulées par les officiers supérieurs de la Marine qui se sont occupés de cette question, fort débattue autrefois.

L'opinion générale s'est arrêtée à un chiffre intermédiaire ; et, depuis longtemps déjà, il a été reconnu qu'une escadre de vingt-cinq à trente vaisseaux avec des bâtiments de second ordre et de flottille en nombre plus que suffisant trouverait place aisément dans la rade sur de bons fonds.

On peut même affirmer que le nombre de vaisseaux *au mouillage* pourrait s'élever au moins à quarante, à présent que la mer y est si tranquille en tout temps et que les navires de guerre sont pourvus de machines à vapeur qui leur permettent de mouiller, d'appareiller et même au besoin de rester en place avec plus d'ordre et dans des espaces plus restreints qu'ils ne pouvaient le faire autrefois, lorsqu'ils n'avaient d'autre secours que celui des voiles.

La partie Ouest de la rade présente des affleurements de roches ou des fonds de sable de peu de profondeur. Néanmoins la tenue est suffisamment bonne dans les parties abritées par la digue contre les vents du large.

Alluvionnements dans la rade de Cherbourg. Planche I.

Il était à craindre que la construction de la muraille ne déterminât la formation de dépôts de vases et même de sables et n'exhaussât le fond primitif.

Pour constater les effets de ce genre qui avaient pu se produire, et pour avoir un terme de comparaison et un point de départ nouveau pour les sondages qui seraient exécutés dans l'avenir, le directeur demanda en 1850 qu'il fût fait une reconnaissance hydrographique de la rade. Cette opération, exécutée par M. l'ingénieur hydrographe de Thésan, confirma le résultat des sondages *périodiques* qui avaient eu lieu pendant l'exécution des travaux, mais qui avaient été discontinués depuis une dizaine d'années.

Elle apprit qu'il ne s'était produit aucun exhaussement général

depuis les sondages de 1832, et que les différences que l'on trouvait d'un point à un autre, tantôt en plus, tantôt en moins, n'avaient aucune signification et pouvaient être attribuées aux erreurs d'opératiou.

La seule différence un peu marquée se rapportait au prolongement dans la rade du banc sous-marin, attenant à l'île Pelée, qui s'était avancé un peu vers l'Ouest, mais en s'abaissant en profondeur par le dérasement de sa crête, ce qui augmentait plutôt l'étendue du mouillage que de la réduire.

Il est présumable qu'il se formera à la longue un *delta* d'alluvions dans l'angle sous-tendu par la ligne qui joint les deux extrémités de la digue, où les courants ont moins de rapidité et durent moins longtemps qu'en pleine rade. Mais cet espace est extrêmement restreint et l'exhaussement de cette partie des fonds attenante aux enrochements ne causerait aucun préjudice à la rade.

Si la construction de la digue n'a pas déterminé la formation de dépôts importants, c'est sans doute parce qu'il reste de larges passes d'entrée à l'Est et à l'Ouest par où les courants de flot et de jusant s'établissent presque avec la même facilité qu'autrefois. L'orientation générale de la digue, dans une direction parallèle aux courants à *mi-marée*, au moment où ils ont la plus grande vitesse, ne change presque rien au régime naturel.

C'est la crainte de modifier un état de choses aussi satisfaisant qui a le plus contribué à faire abandonner l'idée d'une jetée pleine et continue qui devait être établie du fort de Querqueville à la roche Chavagnac, malgré la plus grande sécurité que procurerait cette construction aux bâtiments mouillés sur la rade en temps de guerre.

Mais il ne faut pas se dissimuler que les avantages des grandes passes sont compensés d'une manière fâcheuse par les facilités qu'elles donnent à l'ennemi de tenter des surprises ou de lancer des brûlots à la faveur des courants contre les navires au mouillage, et que la rade

de Cherbourg est particulièrement exposée à des entreprises de cette nature.

Il vaudrait peut-être mieux courir les chances d'avoir à exécuter des draguages à des intervalles de temps peut-être séculaires que de laisser les navires exposés pendant la guerre à tous les risques qui résulteraient pour eux des facilités d'agression par les bateaux à vapeur, et du voisinage d'une position maritime formidable créée à quelques lieues de Cherbourg dans les îles anglo-normandes (île d'Aurigny).

Cherbourg, ce 15 mai 1856,

L'ingénieur des ponts et chaussées de première classe, attaché aux travaux hydrauliques du port de Cherbourg,

Signé, BONNIN.

FIN.

DESCRIPTION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

A Atelier de préparation des ciments et des mortiers, et chantier de fabrication des petits blocs artificiels dont on s'est servi pendant quelques années pour la construction de la risberme Nord de la branche Est à Chantereyne.

B Atelier de fabrication des ciments, des mortiers et des bétons à embarquer pour la digue (sur le môle Nazer, au Nord de l'entrée du port).

C Hangar pour l'extinction de la chaux hydraulique et pour l'emmagasinage de la pouzzolane ; tonneaux à mortier mus par la vapeur ; chemin de fer pour le transport du mortier jusqu'au quai d'embarquement.

D Crique du Homet pour la réparation du matériel flottant.

PLANCHE II.

Fig. 1 et 2.

AB Soubassement définitif du réduit elliptique construit en 1811 et 1812.

AC Chemin de communication provisoire de l'Ouest.

BD Jetée du petit port provisoire de l'Est, à pierres sèches.

EE Mur d'escarpe provisoire de la batterie d'enveloppe, exécutée en 1824 et 1825.

FFF Magasins, ateliers et logements installés dans des baraques provisoires.

GG Terres-pleins ou chemins de communication provisoire.

Le pointillé indique des dispositions provisoires anciennes, qui ont été modifiées par d'autres également provisoires.

Le trait fin continu indique les dispositions provisoires qui ont subsisté jusqu'à l'exécution des ouvrages définitifs.

Le trait gras est le tracé des ouvrages complémentaires définitifs du fort central, de ses raccordements et des petits ports.

Fig. 3.

aa Blocs de rive en béton, construits à Chantereyne et transportés après une quinzaine de jours de durcissement.

bb Premier rang de blocs en maçonnerie, construits à Chantereyne, et transportés après une quinzaine de jours de durcissement.

b'b' Deuxième rang de blocs en maçonnerie, construits à Chantereyne et transportés après une quinzaine de jours de durcissement.

dd Béton d'arrasement de la première couche inférieure de la muraille, mis en place à marée basse de vive-eau.

cc Béton d'arrasement de la risberme Nord, mis en place à marée basse de vive-eau.

e Première assise parementée en granit.

f Deuxième assise parementée en granit.

g Assise au-dessus du niveau des hautes mers.

hh Blocs naturels de défense de la risberme Nord, de 1/3 à 1/2 mètre cube de volume moyen individuel ; la plupart en grès quartzite du Roule et en grès schisteux du Becquet, et quelques-uns en granit.

ii Risberme Sud en moellons.

PLANCHE III.

Fig. 1, 2 et 3.

AA Massif de base en enrochements de moellons et blocailles exécuté presque entièrement de 1784 à 1789.

BB Enrochements complémentaires en moellons et écalins faits depuis 1830.

CC Muraille maçonnée en mortier hydraulique avec addition de pouzzolane artificielle, pour la zone Nord, sur 2 mètres de largeur.

aa Blocs artificiels en béton de 6 mètres cubes, en place sur les enrochements, pour les fondations des premières parties de la branche Est.

a' Blocs artificiels en béton de 6 mètres cubes au moment où ils sont déposés sur le fond des premières parties de la branche Est.

a'' Blocs artificiels en béton de 6 mètres cubes suspendus aux flotteurs, au moment où ils sont déposés sur le fond des premières parties de la branche Est.

bb Premier rang de blocs artificiels en maçonnerie pour les fondations des premières parties de la branche Est.

b'b' Deuxième rang de blocs artificiels en maçonnerie pour les fondations des premières parties de la branche Est.

cc Béton d'arrasement de la risberme Nord pour les fondations des premières parties de la branche Est.

dd Béton d'arrasement de la première couche inférieure de la muraille.

ee Première assise parementée en granit.

ff Deuxième assise parementée en granit.

gg Assises au-dessus du niveau des hautes mers.

hh Blocs naturels de défense du talus Nord, de 1/3 à 1/2 mètre cube de volume moyen individuel, la plupart en grès quartzite du Roule, et en grès schisteux du Becquet, et quelques-uns en granit.

ii Risberme Sud en moellons.

jj Pontons pour le transport et l'immersion des blocs artificiels employés aux fondations des premières parties de la branche de l'Est.

kk Traverses de fond en saillie sur les blocs pour le transport.

Fig. 4.

AA Anciens enrochements de base en moellons et blocailles.

BB Nouveaux enrochements de base en moellons et blocailles.

CC Muraille maçonnée à mortier hydraulique ordinaire dans toute la largeur, quelquefois avec addition de pouzzolane artificielle.

h Blocs naturels de défense.

i Risberme Sud en moellons.

a Caisses en bois à fond de toile, remplies de béton sur place, à marée basse de forte vive-eau. Ces caisses, posées en carreaux et boutisses, ont 3 mètres de longueur, 2 mètres de largeur et 1 mètre de hauteur.

b Dessus de la risberme Sud avant l'exécution des maçonneries.

c Murette à pierres sèches formant la rive Sud de la première couche de béton.

d Première couche de béton en mortier hydraulique ordinaire, quelquefois avec addition de pouzzolane artificielle.

d' Deuxième couche de béton en mortier hydraulique ordinaire, etc.

d'' Troisième couche de béton en mortier hydraulique ordinaire, etc.

ee Tablettes-socles en pierres de Becquet, de $0^{m},30$ de hauteur maximum.

ff Maçonnerie derrière les tablettes, exécutée avant la pose de la première assise.

g Première assise du parement Sud, démaigrie en queue.

mm Parement Nord en granit avec fruit de 1/20.

nn Parement Sud en granit avec fruit de 1/5.

pp Niveau où chaque tranche de muraille était élevée la première année.

p'p' Niveau où chaque tranche de muraille était élevée la deuxième année.

p''p'' Niveau où chaque tranche de muraille était élevée la troisième année.
qq Tranche supérieure qui était ajournée jusqu'à la cessation des tassements.
rr Dallage en granit de la plate-forme.
ss Béton sous le pavage de la plate-forme à taille brute.
t Tenons en bronze dans le joint latéral des pierres de couronnement du côté du large.
uu Platelages à mortier de ciment pour prévenir les avaries en cours d'exécution.
v Exhaussement de la risberme Sud provenant de l'exécution des maçonneries.

PLANCHE IV.

Fig. 5.

a Dessus de l'enrochement de base en moellons et écalins.
a' Partie dressée à la main à basse mer, et prête à recevoir la première couche de béton.
b Murette à pierres sèches formant la rive Sud de la première couche de béton.
c Caisses de béton remplies sur place à marée basse de vive-eau.
d Première couche de béton de 1 mètre d'épaisseur.
e Tablette-socle et maçonnerie pour recevoir la première assise de granit.
g Première assise de granit.
d' Couche de béton arrasant le dessus de la première assise.
g' Deuxième assise.
d'' Couche de béton arrasant le dessus de la deuxième assise.
ii Maçonnerie de remplissage des assises supérieures à la deuxième.
h Platelage à mortier de ciment sur la deuxième assise, à la hauteur où s'arrêtent les travaux de la première campagne.
h' Platelage à mortier de ciment sur la neuvième assise, à la hauteur où s'arrêtent les travaux de la deuxième campagne.
h'' Platelage à mortier de ciment sur la onzième assise, à la hauteur où s'arrêtent les travaux de la troisième campagne.
pp Blocs naturels de défense, formant une couche incomplète en cours d'exécution, première campagne.
p'p' Blocs naturels de défense, formant une couche dont la partie supérieure est seule incomplète, deuxième campagne.
p''p'' Blocs naturels de défense formant une couche terminée, troisième campagne.
qq Risberme Sud en moellons.

PLANCHE V.

Fig. 1. Plan de soubassement du musoir extrême Ouest, de son raccordement avec l'extrémité Ouest de la muraille (branche Ouest) et du petit port de de ce musoir.

Fig. 2. Plan du soubassement de la batterie intermédiaire de la branche Ouest.

PLANCHE VI.

Plan du soubassement du fort central de la batterie d'enveloppe, de ses raccordements avec les murailles des branches Est et Ouest, et des deux petits ports de refuge Est et Ouest du fort central.

PLANCHE VII.

Plan du soubassement du musoir Est, de son raccordement avec l'extrémité Est de la branche Est, et du petit port de refuge de ce musoir.

PLANCHE VIII.

Fig. 1. Coupes verticales suivant les axes Nord-Sud des deux musoirs extrêmes.

Fig. 2. Coupes verticales suivant les axes Nord-Sud du fort central et de sa batterie d'enveloppe.

Fig. 3. Coupes verticales suivant les axes de la batterie intermédiaire.

PLANCHE IX.

Fig. 1. Élévation de la muraille de la branche Est, parement Sud vers la rade, indiquant l'avancement successif des travaux, année par année.

Fig. 2. Plan, à vol d'oiseau, du dessus de la muraille ci-dessus, avant l'exécution des assises de couronnement.

Fig. 3. Élévation de la muraille de la branche Ouest, parement Sud vers la rade, indiquant l'avancement successif des travaux, année par année.

Fig. 4. Plan, à vue d'oiseau, du dessus de la première moitié Est de la muraille ci-dessus, avant l'exécution des assises de couronnement.

Fig. 5. Profils suivis pour l'exhaussement définitif et complet de la muraille de la branche Est.

Fig. 6. Profils analogues pour la muraille de la branche Ouest.

Fig. 7. Mur d'escarpe de la batterie d'enveloppe du fort central et raccordements avec les murailles des branches Est et Ouest (face Nord développée).

Fig. 7 *bis*. Élévation de la partie Sud-Ouest du mur d'escarpe ci-dessus.

Fig. 7 *ter*. Élévation de la partie Sud-Est du mur d'escarpe ci-dessus.

Fig. 8. Élévation du soubassement du fort central, du côté Sud vers la rade.

Fig. 9. Élévation du môle Sud du petit port Est du fort central.

Fig. 9 *bis*. Élévation du quai nord du même petit port Est du fort central.

Fig. 10. Élévation du môle Sud du petit port Ouest du fort central.

Fig. 10 *bis*. Élévation du quai Nord du même.

Fig. 11. Élévation de la batterie intermédiaire de la branche Ouest (parement Sud développé).

Fig. 12. Élévation du développement du soubassement du musoir Ouest, de son raccordement avec la muraille de la branche Ouest, et du quai Nord du petit port de ce musoir.

Fig. 13. Élévation des deux môles rectiligne et circulaire du petit port du musoir Ouest.

Fig. 14. Élévation du développement du soubassement du musoir Est et de son raccordement avec la muraille de la branche Est.

Fig. 15. Élévation des môles rectiligne et circulaire dn petit port du musoir Est.

Nota. Les lettres majuscules qui font partie des diverses figures de la planche IX correspondent à celles que présentent les planches V, VI et VII.

PLANCHE X. — PLAN GENERAL.

A Avant-port militaire.

A' Amorce d'écluse dans laquelle on chargeait les chalands de mortier ou de béton.

BB Chemin de fer desservi par des chevaux pour le transport des mortiers entre les tonneaux et les quais d'embarquement. Ce chemin provisoire était fait avec des rails en fer plat posés sur longuerines.

bb Embranchements pour amener les waggons sous les dégorgeoirs des tonneaux.

CC Dépôt du mortier en approvisionnement pour la digue, et chantier de fabrication et d'embarquement du béton.

DD Dépôt de cailloutis à béton.

EE Passerelles à l'américaine avec écoutilles pour embarquer directement le mortier des waggons à clapet dans les chalands.

HH Dépôt de mortier pour les travaux de l'arsenal.

PLANCHE XI.

Fig. 1, 2 et 3.

Plans, coupe transversale et longitudinale d'un bateau à voiles du port utile de 62ton.,40, susceptible d'être échoué, employé aux transports par mer, embarquements et débarquements des blocs naturels, pierres de taille brutes et taillées.

Fig. 4, 5 et 6.

Plan, coupe transversale et longitudinale d'un chaland du port utile de 31ton.,20, susceptible d'être échoué, employé aux transports des mortiers, bétons, pierres brutes et taillées, moellons pour maçonneries et enrochements.

Nota. Les trains de chalands, pleins ou vides, étaient remorqués par des bateaux à vapeur de la force variable de 50 à 80 chevaux.

PLANCHE XII.

Fig. 1. Plan à vue d'oiseau des deux chalands-pontons jumelés portant un bloc factice.

OO Crocs pour les chaînes de soulèvement.

Fig. 2. Coupe en travers des mêmes.

mm Maillons d'échappement.

Fig. 3. Élévation transversale des mêmes.

N Assemblage des pattes en corde et de chaînes en fer.

Fig. 4. Détails de l'assemblage.

Fig. 5. Détails du maillon d'échappement.

PLANCHE XIII.

Profils divers, vers le large, pris en 1845 sur les enrochements sous-marins de la branche Est de la digue, après les rechargements en blocs naturels de défense.

FIN DE LA DESCRIPTION DES PLANCHES.

ERRATA.

Page 3, ligne 7, *au lieu de* Louis XIV, *lisez* Louis XVI.
Page 4, ligne 11, *au lieu de* (3,098^{m}), *lisez* (3898^{m}).
Id. ligne 3, note marginale, *au lieu de* année 1787, *lisez* année 1778.
Page 6, ligne 21, *au lieu de* (4^{m},89), *lisez* (4^{m},87).
Id. à la note marginale, *au lieu de* année 1781, *lisez* année 1784.
Page 9, ligne 14, *au lieu de* (4^{m},56 à 4^{m},89), *lisez* (4^{m},56 à 4^{m},87).
Id. ligne 27, *au lieu de* (4^{m},56 à 4^{m},89), *lisez* (4^{m},56 à 4^{m},67).
Page 10, ligne 2, *au lieu de* (0^{mc},58 à 0^{mc},89), *lisez* (0^{m3},69 à 0^{m3},86).
Page 15, ligne 8, *au lieu de* (4^{m},89), *lisez* (4^{m},87).
Id. ligne 29, *au lieu de* (4^{m},59, *lisez* (4^{m},55.
Id. ligne 30, *au lieu de* 4^{m},86), *lisez* 5^{m},06).
Page 19, ligne 7, *au lieu de* (8 décembre 1803), *lisez* (18 décembre 1803).
Id. ligne 20, *au lieu de* vives-eaux, *lisez* vive-eau.
Id. ligne 22, *au lieu de* subitement, *lisez* sensiblement.
Page 20, ligne 10, *au lieu de* le 2 février 1808, *lisez* le 12 février 1808.
Page 21, ligne 1, *au lieu de* le chargement, *lisez* le rechargement.
Page 22, ligne 24, *au lieu de* 3 mars 1824. Le second jour après la nouvelle lune, deux larges brèches, *lisez* 3 mars 1824, troisième jour de la lune. Deux larges brèches.
Page 64, ligne 29, *au lieu de* qui fut exployée, *lisez* qui fut employée.
Page 67, ligne 1, *au lieu de* supérieure, *lisez* supérieures.
Page 74, ligne 2, *au lieu de* en supplément fixé, *lisez* en supplément fixe.
Page 79, ligne 1, *au lieu de* 2,5/10 de sable, *lisez* 2.50 de sable.
Page 92, ligne 13, *au lieu de* 62 tonneaux 4 10, *lisez* 62 tonneaux 4/10.
Page 102, ligne 9 de la première note marginale, *au lieu de* bignes, *lisez* bignes.
Page 117, ligne 15, *au lieu de* sous les rapports de vitesse, *lisez* sous les rapports de la vitesse.
Page 119, ligne 9, *au lieu de* côté du chemin de fer qui, était, *lisez* côté du chemin de fer, qui était.
Page 123, ligne 2, *au lieu de* la rade augmentait, *lisez* la rade, augmentait.
Page 153, ligne 4, *au lieu de* quinze tonneaux, *lisez* plus de 17,810 kilogrammes.
Page 156, ligne 14, *au lieu de* des forts, des musoirs, *lisez* des forts des musoirs.
Page 188, ligne 6, *au lieu de* l'éloignement de production, *lisez* l'éloignement du lieu de production.
Page 169, ligne 14, *au lieu de* Bayard de la Viny-, *lisez* Bayard de la Ving-.
Page 174, ligne 14, *au lieu de* en volume par un de ciment, *lisez* en volume pour un de ciment.
Page 208, ligne 23, *au lieu de* était de vingt-huit à trente-deux, *lisez* était de vingt-six à trente.
Page 214, ligne 24, au lieu de *Dosagè des mortiers, corroyage et rapprochement du mortier*, lisez *Dosage, corroyage et rapprochement des mortiers.*
Page 220, ligne 11, *au lieu de* Ses voituriers, *lisez* Les voituriers.
Page 223, ligne 7, *au lieu de* 63^{m},95, *lisez* 63^{m},75.
Page 230, ligne 28, *au lieu de* Thésan, *lisez* Tessan.

TYPOGRAPHIE HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7. BATIGNOLLES
(Boulevard extérieur de Paris).

